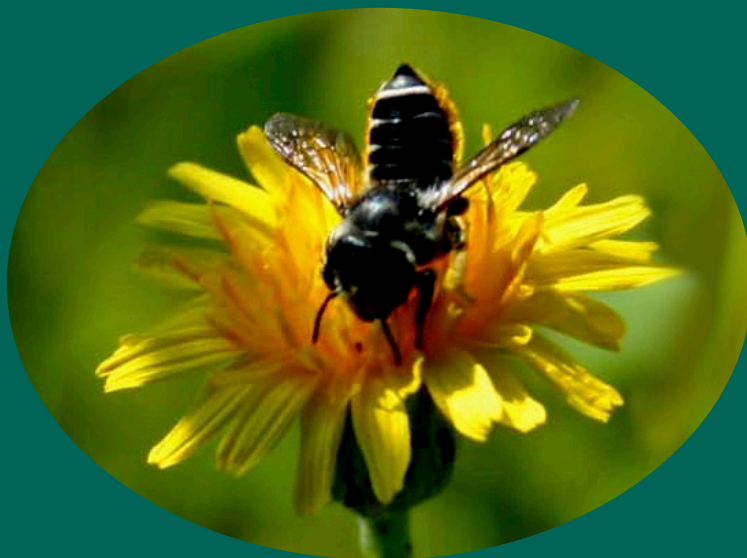


Электронный архив УГЛТУ

М.А. Проскуряков

ХРОНОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ТРУДЫ ИНСТИТУТА БОТАНИКИ И ФИТОИНТРОДУКЦИИ

М.А. ПРОСКУРЯКОВ

**ХРОНОБИОЛОГИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

*Рекомендовано для опубликования
Ученым Советом РГП «Институт ботаники
и фитоинтродукции» КН МОН РК*

Т.18(1)

**АЛМАТЫ
2012**

УДК: 631.92/96

ББК 40.2

П82

Рецензенты:

международный эксперт ООН по опустыниванию,

профессор, доктор биологических наук

Л.Я.КУРОЧКИНА;

доктор биологических наук И.И.КОКОРЕВА

Ответственный редактор

доктор биологических наук

Г.Т. СИТПАЕВА

Проскуряков М.А.

П82 Хронобиологический анализ растений при изменении климата.

Алматы: LEM, 2012. – 228 с.: ил.

ISBN 978-601-80248-0-1

В книге рассмотрены содержание проблемы хронобиологического анализа растений, методологическая основа и опыт первых исследований в период изменения климата на крупной территории экологически весьма разнообразной Республики Казахстан; разработаны основные концептуальные подходы к решению проблемы для равнинных и горных территорий. Изложенные здесь результаты – только начало дальнейших исследований, которые должны быть развернуты в области хронобиологического анализа растительных систем. И потому выполненная работа была бы вполне оправдана, если послужит их развитию.

Книга предназначена для широкого круга специалистов – биологов, метеорологов, программистов – математиков, ученых экологов, педагогов, практиков сельского и лесного хозяйства.

УДК: 631.92/96

ББК 40.2

ISBN 978-601-80248-0-1

© Проскуряков М.А., 2012

© Институт ботаники и фитоинтродукции, 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Авторская монографическая работа проф. М.А.Проскурякова «Хронобиологический анализ растений при изменении климата» представляет актуальное произведение эколого-ботанического исследования по изменению ряда существенных показателей жизнедеятельности типичных доминантов растительности в связи с изменениями погодных условий периода 1975-2008 годов в Казахстане, а также некоторых данных по хронологическому анализу растительности России.

Пропагандируемое в многочисленных источниках информации глобальное изменение климата, по сути, пока еще явление прогнозируемое и достаточно дискуссионное, особенно с учетом цикличности климатических характеристик в условиях многообразия и многочисленности экологических систем компонентов Земли. Работа М.А.Проскурякова иллюстрирует и дополняет локальное воздействие температурного режима на примере растительности в Казахстане. Такие исследования по реакции флоры, в том числе доминантов растительности на изменения климата крайне ограничены, а потому методические приемы и количественные оценочные показатели практически до сих пор слабо разработаны и не бытуют в практике ботаников и метеорологов. Крайне ограничено применение математических методов анализа, которые позволяют систематизировать и обобщать полевые наблюдения. Автор предлагает конкретную методику хронобиологического анализа. Результаты позволяют автору провести количественную оценку наблюдаемых нарушений в фенологических циклах, продуктивности и репродукции ряда видов – представителей флоры проимы р. Или и горных, в том числе лесных, ландшафтов (Заилийского Алатау).

При изложении концептуальных положений автор основывается на представлении российских ученых (климатологов) о рубеже значительного изменения тепло-влажнорежимов с 1975г., т.е. уже тогда, по мнению ряда авторов, началось и прогрессирует потепление климата. М.А.Проскуряков особо выделяет период 1975-2008 гг. Быстрое изменение климата (скорости потепления) за последние 50 лет, новый температурный режим формирования растительности, по мнению М.А.Проскурякова, не позволяет растениям адаптироваться к этим изменениям и возникает проблема уязвимости экосистем. Уязвимость рассматривается в режиме времени изменения климата, что позволяет получать ее числовые характеристики.

Изменчивость биохимических реакций и химизма растений при зонально-поясных сменах общеизвестна и наиболее существенна при

опытах с интродуцентами. При интродукции растений предлагаемая в монографии методика количественного математического анализа также приемлема и существенна для дополнительной корректировки условий выделяемого периода потепления и экологической амплитуды приспособленности интродуцентов. Работа напоминает также о часто забываемых и изменяющихся границах агроклиматических областей, что также очень существенно при интродукции растений.

По аналогии с Россией и Европой для Казахстана рекомендуются приемы дендроклиматического мониторинга с учетом фенособытий и их хронологической динамики на уровне ценопопуляций. При этом, безусловно, новым и своеобразным является обоснование приемов биометрии для установления «рядов регрессии», выявление криволинейной регрессии для казахстанских видов пустынной и горной флоры.

Работа основана на статистической оценке тесноты корреляционных связей, на основе которых определяется степень зависимости между определяемыми признаками функционирования растений (биофункции) и климата.

Особый интерес представляют аналитические заключения по всем пяти главам книги. Обращает на себя внимание акцент на биологическую размерность биоструктур (вид – особь, ценопопуляция, биоценоз, экосистема). При мониторинге, в дальнейшем, по-видимому, детерминантными видами-индикаторами устойчивости и изменчивости сложных систем будут служить виды, обладающие средообразующими функциями в экосистемах.

Разработанная автором методологическая основа демонстрируется на конкретных примерах (глава 3 – опыт исследований) для дельты р. Или и предгорий Заилийского Алатау. Проведен анализ уязвимости фенособытий для зональных и интродуцированных видов, биоценотических процессов для энтомофильных растений–нектаровыделителей. Выполнены исследования консортивной взаимосвязи нектаровыделения и сбора нектара пчелами (медосбора) с тугайных растений дельты р. Или. Среди основных показателей: характеристики фенологии (цветения и нектаровыделения, сроки, продолжительность, климатические показатели) и характеристика изучаемого процесса медосбора (продуктивность медосбора, сезонность, длительность, прослеженные по годам изменения, теснота корреляционной связи с нектаровыделением и др.). Отмечена высокая степень уязвимости всех анализируемых показателей медосбора в период изменения климата. База данных включает пятнадцатилетние наблюдения за продуктивными и поддерживающими медоносами тугайной растительности. Констатируется существенное нарушение медоносной базы и медосбора и по количеству и по срокам взаимодей-

ствия. Трансформируется тип медосбора, начались кризисные изменения медоносной базы, что доказано на примере построенных автором линий регрессии для чингила, верблюжьей колючки и соссюреи солончаковой.

В главах 4,5 проведен возможный обзорно-картографический анализ применения предлагаемой хронобиологической методики для плакорной и горной растительности. Частично этот материал уже получил достойную оценку по монографии автора «Горизонтальная структура горных темнохвойных лесов». Дополнения по хронобиологическому анализу по уязвимости природных систем, видов, ценопопуляций доминантов дают возможность получать количественные оценки биопоказателей при изменении климатических факторов. Применение статистической обработки за конкретные периоды трансформации климата и их влияние на жизнеспособность биосистем по М.А.Проскурякову возможно при актуальных полевых исследованиях и наличии базы ретроспективных и прогнозируемых данных.

Новизна и актуальность монографии М.А.Проскурякова очевидны, равно как и возникающая дискуссионность по ряду положений, что связано с малым количеством или отсутствием наблюдений такого плана для большинства экосистем и видов растений. Недостаточность комплексного взаимодействия биологов и метеорологов по согласованию программ и методик оценки изменений климата и их воздействий на биоту, а, главное, необходимость хронобиологического анализа при мониторинге очевидны. Поэтому приоритетность публикации М.А.Проскурякова «Хронобиологический анализ растений при изменении климата» вполне оправдана, причем как научно-методическое пособие и источник достоверных количественных данных для изученных автором растений.

Особо отметим возможность широкого применения подобного анализа: биометрии; определения коррелятивных связей, их тесноты; уязвимости биоструктур при возникающих кризисных ситуациях для сложных по видам функционирования и взаимозависимости компонентов экосистем, зональных растительных сообществ, биомов.

Предлагаемая методологическая основа анализа может быть реализована в программах экологического мониторинга и заинтересует широкий круг специалистов – биологов, метеорологов, программистов – математиков, ученых экологов, педагогов, практиков сельского хозяйства.

**Международный эксперт ООН по опустыниванию,
профессор, доктор биологических наук
Л.Я. КУРОЧКИНА**

*Предупрежден – значит вооружен.
(поговорка)*

ВВЕДЕНИЕ

Согласно материалам обобщающего доклада об изменениях климата и их последствиях, выполненного созданной Всемирной метеорологической организацией и ООН самой авторитетной Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК, или IPCC, от *Intergovernmental Panel on Climate Change*), факт глобального потепления уже не вызывает сомнений. За столетний период 1906–2005 гг. средняя глобальная температура продолжала увеличиваться и выросла на $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$. При этом средняя скорость потепления для последних 50 лет ($0,13 \pm 0,03^\circ\text{C}$ за 10 лет) оказалась даже в два с половиной раза больше, чем та же величина, рассчитанная для последних ста лет (IPCC, 2007). Потепление климата, которое сейчас наблюдается, идет чрезвычайно стремительно. Никогда еще средняя температура планеты не изменялась с такой невероятной скоростью не характерной для естественных циклических процессов. И такое развитие событий не позволяет биологическим видам и экосистемам приспособиться к столь быстрым климатическим изменениям. Все это может привести к крупным экономическим потерям, обеднению населения, росту безработицы и социальной напряженности, вплоть до войн за место, где можно будет жить человеку.

Страны, в которых не изучается роль смены климата в жизни растений, не смогут подготовиться к грядущему. Они будут беспомощны не только в экологическом, экономическом, но и в политическом отношении. По этим причинам проблема уязвимости природных растительных экосистем вызывает особую тревогу ученых. Сейчас она занимает центральное место в исследованиях. И потому неслучайно, что ей посвящен «Специальный доклад МГЭИК. Последствия изменения климата для регионов: оценка уязвимости» (1997; Climate Change 2001, 2001a; Русский архипелаг, 2011).

Составителями этого доклада МГЭИК была разработана концепция, согласно которой под уязвимостью понималась способность природной растительной системы противостоять разрушительному воздействию изменения климата. Притом для оценки уязвимости рекомендовалось

исследовать соотношение чувствительности и адаптационной способности природных систем. Данная концепция была положена в основу работы стран участвующих в исследованиях глобального изменения климата (см., например, Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, ОД.Том 1,П, 2008; Второе Национальное сообщение Республики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 2009; Пятое национальное сообщение Российской Федерации, 2010 и др.). Однако сторонники этой концепции были вынуждены констатировать, что пока еще главной трудностью в ее реализации является наличие неопределенностей при измерении чувствительности и приспособляемости природных растительных систем. В результате оценки уязвимости часто носят качественный характер.

В свете сказанного выше для решения возникшей проблемы количественного анализа, а также оценки уязвимости растительных систем, представляется целесообразным развитие хронобиологических исследований.

Хронобиологический анализ растительных систем будет основываться на количественном исследовании реакции их характеристик во времени изменения климатических условий. С его помощью можно статистически достоверно определять числовые оценки степени уязвимости характеристик растительных систем, получать графические линии регрессии характеристик и аналитические формулы, количественно отражающие временной ход их изменения. Он позволит увидеть вариабельность растительных систем во времени изменения климата. Поможет определить реактивность и чувствительность системообразующих компонентов растительных ассоциаций, индикаторных представителей растительной системы. Обнаружит такие сдвиги характеристик растительных систем, которые окажутся существенными, угрожают выживаемости растительных систем, превышают уровень их адаптационной способности и свидетельствуют об их высокой чувствительности и уязвимости. Даст возможность оценивать стабильность или уязвимость каждой растительной системы в динамике ее развития. И, хотя результаты хронобиологического анализа не могут в исчерпывающей мере раскрыть биологическую суть происходящих процессов, с его помощью удастся выяснить направление изменений устойчивости и уязвимости показателей растительных систем, получить основу для всестороннего и углубленного изучения реактивности растительных систем на изменение климата и принятия действенных мер по предотвращению их разрушения.

Содержание книги и составляют итоги исследований в этом направлении. Их фактический материал был собран в период 1994 – 2008 гг. путем регулярных наблюдений за растениями на территории крупного экологического полигона простирающегося от гор Северного Тянь-Шаня до Южного Прибалхашья. Здесь изучалась динамика фенособытий у доминирующих видов растений, их биотических связей, динамика и продуктивность нектаровыделения, проводились круглосуточные наблюдения за режимом температуры и влажности воздуха (Проскуряков, 2002а,б; 2003; 2005; 2007б). В результате удалось создать необходимую для хронобиологического анализа базу данных временного хода характеристик растений в период изменения климата. Эта база данных была пополнена также и материалами многолетних результатов испытаний инорайонных видов растений интродуцированных на коллекционных участках Главного ботанического сада Института ботаники и фитоинтродукции Казахстана расположенного в предгорьях Северного Тянь-Шаня. Для них выполнялись хронобиологические исследования временного хода прироста высоты растений, качества их семян, продолжительности периода развития генеративных органов, даты начала цветения и ряда других показателей (Проскуряков, 2009а). К 1999-му году была выполнена и аналитическая работа, обобщающая основные причины развития экологической катастрофы в данном регионе. (Проскуряков, 1999).

Разрабатывалась теоретическая и методологическая основа хронобиологического анализа растительных систем (Проскуряков, 2006; 2007а,б,в). Впервые в обобщенном виде результаты ее разработки, принципиальные положения методологической основы и опыт применения для хронобиологического анализа уязвимости растений в период изменения климата были доложены на научной конференции «Проблемы обеспечения биологической безопасности Казахстана», состоявшейся 21-22 ноября 2008 года в г.Алматы, а затем опубликованы в материалах этой конференции и в рейтинговых журналах Республики Казахстан и Российской Федерации (Проскуряков, 2008а,б; 2009а,б). Одновременно исследовались особенности применения различных алгоритмов обработки данных хронобиологических наблюдений, развивалась методологическая и методическая основа хронобиологического анализа (Проскуряков, 2009в,г; 2011а,б). Разрабатывалась научно-методическая основа сопряженного градиентного и хронобиологического анализа растительных систем, которая впервые была доложена на международной научной конференции в Казахстане посвященной актуальным проблемам ботанического ресурсосведения (Проскуряков, 2010а), а затем – на

международных конференциях, состоявшихся в России и Кыргызстане (Проскуряков, 2010б; 2011в). С учетом результатов выполненных исследований была разработана также и концепция решения проблемы сохранения растительных ресурсов, обеспечивающая выживание человека в условиях глобального изменения климата. Основные ее положения опубликованы в журнале «Известия Национальной академии наук Республики Казахстан» (Проскуряков, 2008в). По причине малой длительности истекшего периода изменения климата все полученные результаты пока еще отражают влияние происходящих изменений погодных условий. Но это не является препятствием для развития данного направления, т.к. хронобиологические исследования могут продолжаться сколь угодно долго, что только повысит их ценность.

В книге рассмотрены актуальность, содержание проблемы и методологическая основа количественного хронобиологического анализа растительных систем в период изменения климата. Проанализирован накопленный опыт хронобиологических исследований степени уязвимости и временного хода количественных характеристик растительных систем, а также особенности применения этого подхода в условиях равнин и гор. В целом содержание книги базируется на результатах и опыте 50-летних экспедиционных исследований автора. В том числе – материалах 15-летних хронобиологических наблюдений, выполненных в период глобального изменения климата.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМА ХРОНОБИОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Для того чтобы увидеть реальность и масштабы надвигающейся катастрофы растительного покрова Земли нужно сосредоточить внимание на двух главных аспектах. Во-первых, – на особенностях происходящего глобального потепления климата. И, во-вторых, – на опыте, накопленном ботаниками исследовавшими поведение растений при изменении климатических условий.

Наиболее характерные **особенности и масштабы изменения температурного режима климата**, которые происходят в **северных широтах Земли**, вначале **рассмотрим на конкретном примере Российской Федерации**. По сравнению с другими государствами эта страна занимает самую большую территорию (17098,2 тыс. км²). Она размещается в Восточной Европе и Северной Азии, простираясь на 4 тысячи километров в широтном направлении и более 9 тысяч километров – в меридиональном, охватывая при этом арктический, субарктический и умеренный пояса северных широт. Природные зоны Российской Федерации включают полярные пустыни и тундру, лесотундру, северную тайгу, лесостепь, степь, полупустыню и пустыню. Отсюда становится ясно, что для анализа нашей проблемы результаты столетних наблюдений Росгидромета заслуживают особого внимания. Они **отражают процессы, происходящие в наиболее крупном и репрезентативном регионе планеты**.

Материалы этих наблюдений опубликованы в «Пятом национальном сообщении Российской Федерации» (2010:117) и представлены на рис.1(см. верхний график, заимствованный из этого сообщения Росгидромета). Они убедительно доказывают, что средняя скорость потепления (коэффициент линейного тренда) за последние 100 лет (1909-2008 гг.) составила 0,14°C/10 лет. Причем с 1976 года потепление стало наиболее интенсивным, так что «современный» тренд (за 1976-2008 гг.) равен уже 0,51°C/10 лет. Рассчитанные Росгидрометом линии трендов дают весьма наглядное представление о направлении и скорости изменения температурного режима, хотя и отражают усредненную картину, т.к. они получены для очень крупной территории, которая к тому же внутренне чрезвычайно разнообразна в климатическом отношении.

Однако для **анализа особенностей формирования растительных систем** важно сосредоточить внимание не только на скорости и на-

правлении происходящих изменений, но и на том, **в каком диапазоне варьирования температурного режима формировался растительный покров северных широт.** С этой позиции в пределах графического поля рисунка Росгидромета можно условно выделить **две области** (см. на нижнем графике рис.1 оконтуренные области А и Б), которые характеризуют **разные диапазоны изменчивости температурного режима.** Выделенная область А включает все варианты варьирования

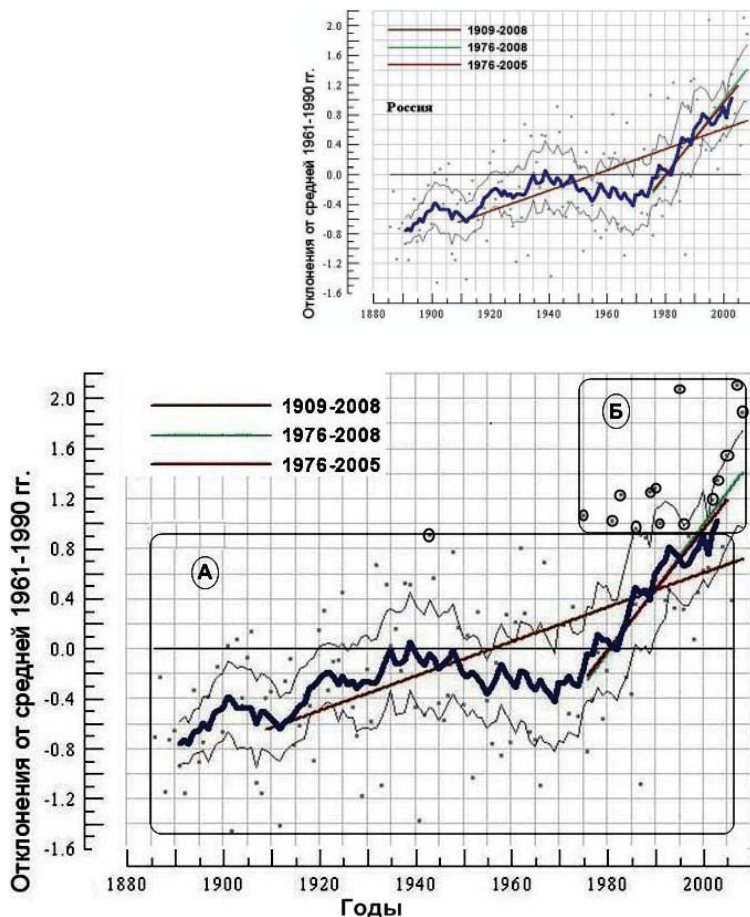


Рис. 1. Изменения среднегодовой температуры приземного воздуха, осредненной Росгидрометом по территории России в отклонениях от средних за 1961-1990 гг.

Точками показаны результаты наблюдений, кривыми – 11-летняя сглаженная и 95% доверительный интервал сглаженных значений. Линейные тренды проведены за периоды: 1909-2008, 1976-2005 и 1976-2008 гг. На верхнем графике представлены материалы в исполнении Росгидромета. На нижнем – автором выделены две области (А,Б) температурного режима формирования растительного покрова. Пояснения в тексте.

температурного режима, когда потепление не превышало границ наблюдаемых в 1943 году (см. координаты обведенной кружком точки по данным 1943г). Выделенная же область Б отражает варьирование только той части характеристик температурного режима, которые превышали пределы варьирования наблюдаемые в области А. Как видим, формирование области Б началось с 1975 года.

Выполненные здесь дополнения к рисунку Росгидромета позволяют наглядно увидеть, что весь **существующий ныне облик растительного покрова северных широт был сформирован именно с участием имевшего место диапазона варьирования температурного режима выделенной области А.** Ведь такой температурный режим формировал растительный покров очень длительное время.

В результате исторически выработавшейся адаптации имеющейся массы видов растений **на этапе до 1975 года растительный покров и оказался гармонично подогнан под существующие климатические условия.** Доказательством того являются все накопленные наукой и практикой результаты исследований закономерностей дифференциации растительного покрова, его структуры, продуктивности, а также и огромный опыт классификации его разнообразия. Только исторически сложившаяся природная упорядоченность растительного покрова, отсутствие хаоса в размещении и поведении растений и позволяли до сих пор уверенно классифицировать растительный покров, а затем успешно применять на практике и в науке весь накопленный опыт этих классификаций.

Однако на новом этапе формирования климата (см. рис 1-Б) среднегодовая температура воздуха начала часто и сильно возрастать. **В результате она стала значительно превышать максимальные характеристики потепления для всего предшествовавшего периода.** Несложно подсчитать, что именно в период **1975 – 2008 гг. уже в 40% истекших лет наблюдались столь высокие максимальные отклонения температуры воздуха, каких до этого не было.** В результате совокупность лет с такими максимальными потеплениями воздуха составила совершенно новую устойчиво обособленную группу, которая быстро увеличивается (см. размещение обведенных кружками точек на рис. 1-Б). Отсюда можно констатировать, что **начал формироваться совершенно новый режим варьирования температурных характеристик климата. И он стал весьма существенно отличаться от привычного для ранее поселившейся основной массы видов растений.**

Наряду с рассмотренными выше особенностями variability происходящих глобальных изменений климата не менее важно учитывать и географические масштабы этих изменений. Наглядное представление о масштабах и скорости происходящих географических изменений температурного режима дает рис.2, которым проиллюстрированы данные о средней скорости изменения среднегодовой температуры приземного воздуха на территории России. Этот рисунок заимствован из опубликованного Росгидрометом «Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» (2010).

Как видим, процесс потепления температуры приземного воздуха охватывает всю без исключения территорию России. Причем даже при столь огромных географических масштабах страны средняя скорость изменения среднегодовой температуры приземного воздуха стабильно высока. Она варьирует в весьма узких пределах: всего от 0,4 до 0,6 градусов за 10 лет. Таким образом, и материалы рис.2 убеждают нас в том, что **практически все прежде сформировавшееся разнообразие растений и их фитоценозов на огромных просторах Земли вынуждено вступить в совершенно новые для них температурные условия.** Теперь уже формирующиеся новые условия климата окажутся благоприятными только для той части видов, которые в своей древней истории имели возможность сталкиваться со сходным климатическим режимом. **А для тех растений, генотип которых к новым климатическим условиям не приспособлен, неизбежны большие потери.**

В качестве дополнения к сказанному выше кратко остановимся еще на развитии процессов изменения климата в прилегающей к Российской Федерации с юга Республике Казахстан. По территории Казахстана также имеются данные раскрывающие географическую дифференциацию происходящих изменений температуры. И вместе с материалом по России они, как представляется, позволяют более масштабно увидеть общую картину трансформации климата северного полушария в пределах от 40⁰ до 80⁰ градусов северной широты. Общая (для России и Казахстана) протяженность этой территории с юга на север составляет свыше 6 тысяч километров. И имеющиеся материалы позволяют оценить происходящие изменения климата на площади 19823 тыс. км²: от арктического и субарктического пояса на севере Российской Федерации до района, который на юге Казахстана по некоторым характеристикам близок уже к средиземноморскому типу климата.

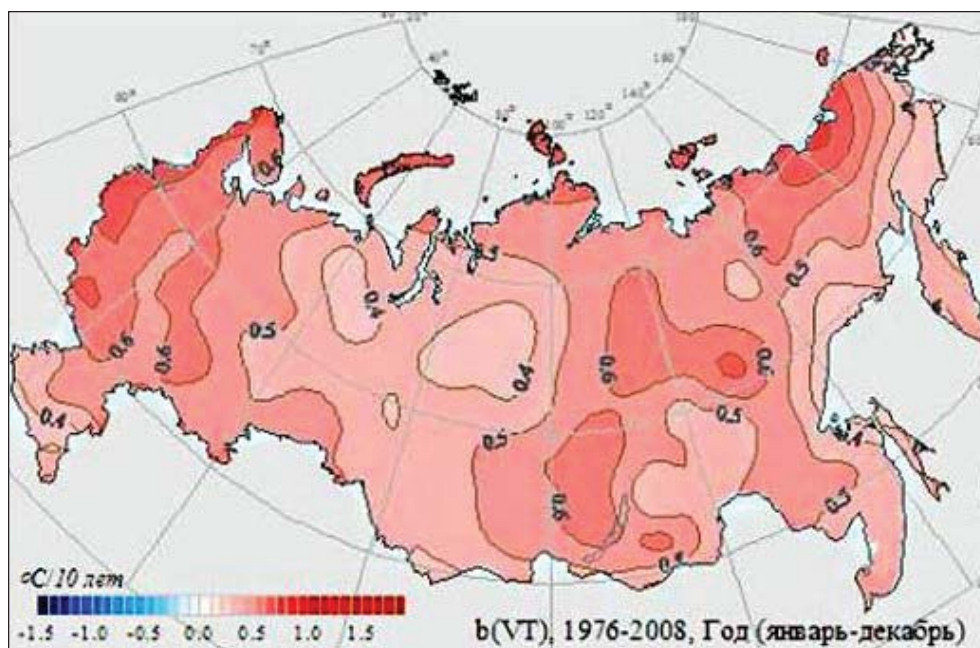


Рис. 2. Средняя скорость изменения среднегодовой температуры приземного воздуха на территории России по данным наблюдений за 1976-2008 гг. (в °C/10 лет). По материалам «Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации». Т.1 (2010:38).

Как известно, Республика Казахстан расположена в центральной и северной Евразии. Простирается на 3000 километров от гор Рудного Алтая на востоке до нижнего течения реки Волги на западе; и на 2000 километров от пустынь Кызылкум и гор Северного Тянь – Шаня на юге до Западно-Сибирской равнины на севере. На территории Казахстана представлены четыре климатических зоны: лесостепная, степная, полупустынная и пустынная. Из-за отдаленности от океанов для основной части территории республики характерен резко-континентальный климат. Суточные перепады температур достигают 20-30°C. Количество выпадающих осадков варьирует в очень широких пределах: от 100-200мм в год в пустынях до 1600мм в год в горах. В северных районах страны зимние морозы достигают минут 52° С. А наиболее высокая температура приземного слоя воздуха в июле на юге (в пустыне Кызылкум) достигает + 47° С.

В опубликованной сводке «Второе Национальное Сообщение Респу-

блики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата» (2009) по наблюдениям более чем 90 метеостанций констатируется, что климат Казахстана также, как и в расположенной севернее Российской Федерации, значительно потеплел. Повышение температуры наблюдается практически повсеместно все сезоны года. Среднегодовая температура воздуха возрастает в среднем на 0,31 градуса за каждые 10 лет. В этой связи основной характеристикой территории Казахстана является усиление засушливости климата пустынь и полупустынь, а также в близлежащих к ним районах. Сказанное иллюстрируется аналитическими и картографическими материалами упомянутой сводки и выполненным ее авторами анализом распределения коэффициента линейного тренда температуры приземного слоя воздуха по территории Республики Казахстан за период 1936-2005 гг (рис. 3).

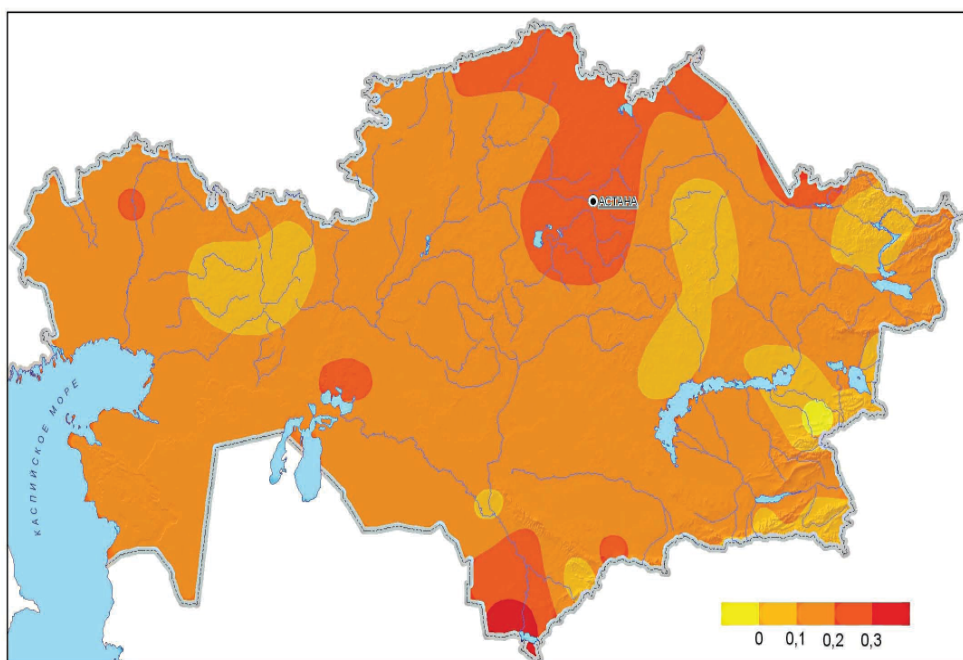


Рис.3. Распределение коэффициента линейного тренда температуры приземного воздуха за год по территории Республики Казахстан в период 1936-2005 гг., °C/10 лет. По материалам «Второго Национального Сообщения Республики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата» (2009).

На пояснительной шкале рис.3 цифрами показаны обозначения градаций изменения тренда среднегодовой температуры в °С/10 лет. Как свидетельствует о том материал рис.3, на примере Казахстана, также как и в отношении Российской Федерации, легко убедиться, что процесс изменения климата Земли идет очень быстро. При этом он охватывает огромные площади. В данном конкретном примере по Казахстану – это 1,8% суши Земли на тысячах километрах протяженности территории.

По данным цитируемого сообщения в Приуралье, а также в крайних северных районах Казахстана и в районе Сарыарки за счет существенного увеличения сумм осадков климат становится более влажным. Такая же тенденция наблюдается в горных районах юга и юго-востока республики. Из-за быстрого прогревания в горах юго-восточного Казахстана в течение последнего полувека ледники сокращались со средними темпами около 0,8% в год по площади и 1% по запасам льда. На северном склоне хребта Заилийского Алатау (Северный Тянь-Шань) за 1955-2004 гг. площадь ледников сократилась на 40,8%. При таких темпах оледенение здесь может исчезнуть к концу 21 века. Комплексное воздействие изменяющихся в пределах Казахстана температуры приземного воздуха и количества осадков приведет к смещению зон увлажнения в направлении севера страны. В условиях засушливого климата дефицит воды приведет к полному изъятию водных ресурсов на юге Казахстана. В результате деградации оледенения сток горных рек существенно уменьшится. Например, для северного склона хребта Заилийского Алатау сток сократится на 163 млн. м³ в год. Для бассейна реки Или сток горных рек по причине деградации оледенения сократится на 13000÷14000 млн. м³ в год.

Наглядным подтверждением того, что потепление климата ведет к устойчивому изменению границ агроклиматических областей, могут служить и картографические материалы Республики Беларусь, выполненные в периоды до и после начала интенсивных процессов изменения климата (рис.4). Как свидетельствует о том материал рис.4, в процессе потепления климата в Республике Беларусь на юге Полесья к 2008 году уже образовалась совершенно новая более теплая крупная агроклиматическая область, в которой сумма температур более 10 градусов достигает выше 2600 °С.

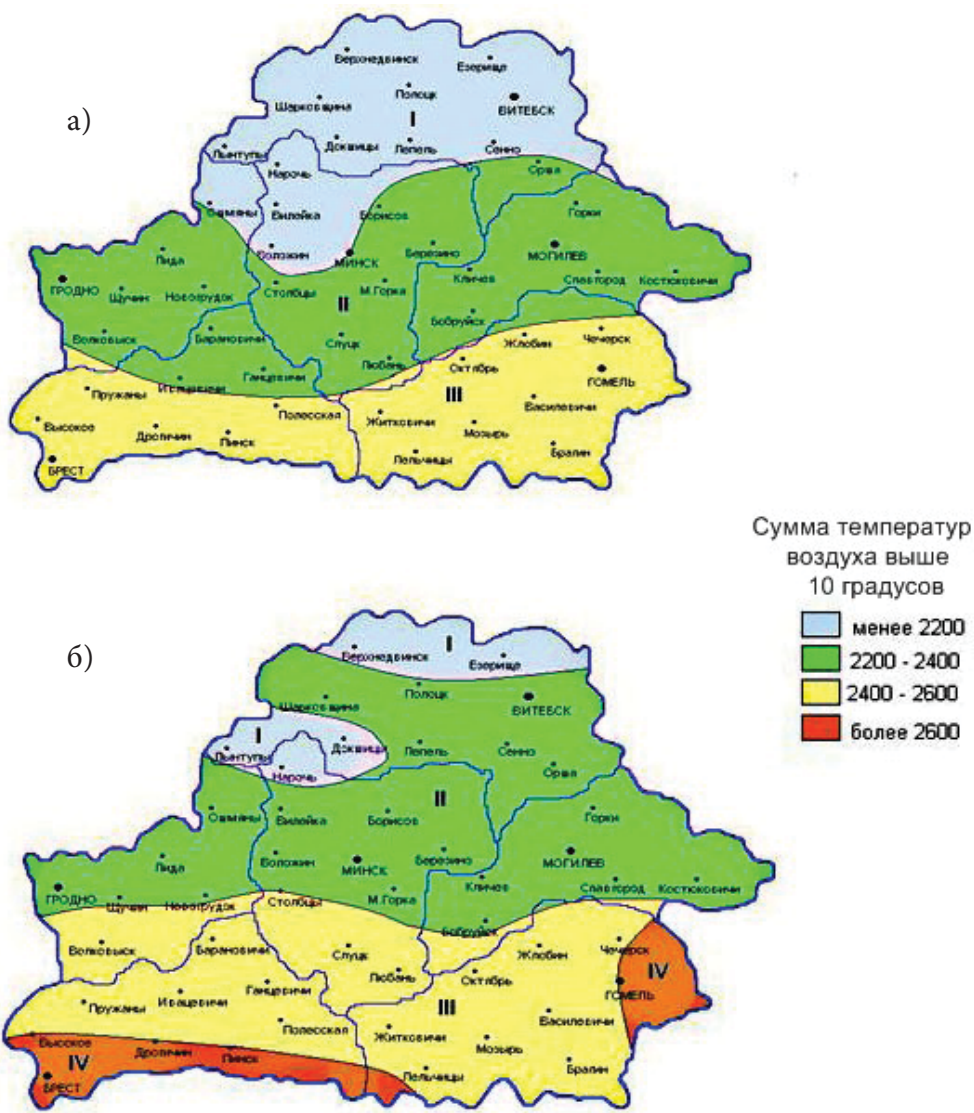


Рис. 4. Изменение границ агроклиматических областей Беларуси

а) границы агроклиматических областей по А.Х. Шкляру (1973г.)

б) границы агроклиматических областей по В.И. Мельнику за период 1989-2008 гг. Агроклиматические области: I – Северная, II – Центральная, III – Южная, IV – Новая. (цит. по «Докладу о стратегических оценках последствий изменений климата в ближайшие 10-20 лет для природной среды и экономики Союзного государства». www.meteorf.ru/pub/get-file.aspx)

С учетом проиллюстрированных выше материалов приходится констатировать, что **в данное время наша планета уже активно вступила в начальный этап кардинальных изменений растительного покро-**

ва. И в этой связи теперь будет уместно остановиться на обсуждении накопленных результатов исследований поведения растений в меняющихся условиях климата.

Каждый ботаник в своих исследованиях, так или иначе, вынужден учитывать роль климатических условий жизни растений. Но особенно остро эта проблема всегда стояла перед фитоинтродукторами, главная задача которых именно и заключалась в переносе растений в новые климатические условия. Их ошибки оборачивались большими финансовыми затратами, напрасно потраченным трудом и временем. Поэтому неслучайно, что еще на заре зарождения теории интродукции основоположник ботанической географии А.Гумбольдт (Humboldt, 1817) сформулировал положение о том, что для обеспечения удачного переноса растений в другую область наибольшее внимание надо уделять климатическим показателям, в первую очередь температурному фактору и особенно сумме температур, получаемых растениями за период вегетации. Успех интродукции, по его мнению, обеспечивался лишь в том случае, если сумма положительных температур на новом месте будет не ниже, чем на родине растения.

А.Декандоль (1839) для прогноза успешности интродукции растений в новые климатические условия считал необходимым подсчитывать сумму температур, необходимых для начала развития растений.

Из числа методов экстраполяционного прогнозирования наиболее широкое применение получил метод климатических аналогов Г.Майера (Mayr, 1909а,б). В книге “Лесоводство на основе законов природы” он описывает совмещенные климатические, ландшафтные и дендрологические зоны для северного полушария. При этом Г. Майер выделяет “лесные зоны”, называя их по древесным доминантам – индикаторам температурного режима (зона пальм, лавра, каштана, бука, хвойных, лесов, полярных видов). Прогноз успешности интродукции считался положительным, если растение предполагалось переносить в аналогичную зону. Наряду с климатическими условиями Г.Майер рекомендовал всесторонне учитывать природную обстановку в целом, биологические условия на родине и в местах интродукции растений.

При использовании метода климатических аналогов нередко для прогнозирования успешности интродукции учитывался какой-либо один лимитирующий фактор. И это не всегда позволяло добиться удовлетворительной точности прогноза.

В.И.Вернадский (1925, 1927, 1960) также пришел к выводу о том, что **распределение растений по территории земной поверхности и масса**

их живого вещества зависят от условий существования и что на каждом конкретном участке земной поверхности растения стремятся достичь наибольшей продуктивности для данных условий существования. При этом **первопричину устойчивости работы системы «растение – среда»** он однозначно видел **в наличии определенной закономерности поступления солнечной энергии и распределения климата на земле.**

В дальнейшем в отношении растений различного систематического положения эти взгляды нашли развитие и подтверждение во многих работах. В учениях о типах леса, распределении и взаимодействии лесных растений Г.Ф.Морозова (1926). В формировании геоботанических представлений о растительных сообществах, основы которых заложены Л.Г.Раменским (1938) и учеными его школы. В исследованиях закономерностей формирования продуктивности растений, выполненных К.А.Тимирязевым (1949). В учении о биогеоценозах и их продуктивности В.Н.Сукачева (1964, 1972). В обстоятельном анализе закономерностей распределения растительности земного шара выполненном Г.Вальтером (1968, 1974) , Р. Уиттекером (1980) и многих других работах.

Пожалуй, не будет преувеличением сказать, что особое место в разработке проблемы географической изменчивости растений при интродукции принадлежит Н.И.Вавилову и возглавляемому им коллективу научных работников. Впервые результаты этой работы были доложены I Всесоюзному ботаническому съезду в Ленинграде 9 января 1928 года (Вавилов, 1965). Исследования базировались на географических опытах в 115 пунктах, где проводились посевы и испытания более 40 различных видов культурных растений, начиная с пшеницы и кончая хлопчатником. Наиболее важные растения (пшеница, ячмень, овес, лен, зерновые, бобовые) испытывались в нескольких сортах для того, чтобы охватить все их ботаническое разнообразие. Всего 185 различных озимых и яровых сортов, представленных преимущественно чистыми линиями, высевались ежегодно в каждом из географических пунктов по единообразной программе. Наблюдения и уход велись по унифицированной методике в течение пяти лет. Крайний северный пункт этих опытов располагался за Полярным кругом на широте около $67,5^{\circ}$, а крайний южный пункт – на параллели Мерва в Туркменистане. Крайний западный находился в Литве (Ковно), а крайний восточный – во Владивостоке. Все пункты располагались рядом с метеостанциями. При постановке опытов учитывались метеоданные. Центральной задачей географических опытов было исследовать закономерности изменчивости растений в зависимости от

географических факторов; установить, как меняются морфологические и физиологические признаки, продуктивность и химизм растений. В результате исследований выяснились многие особенности влияния климатического режима разных географических широт. Например, южные расы корнеплодных растений, будучи перенесены на север, не давали корнеплода: афганская репа и редька под Ленинградом превращались в сурепку и масличную редьку. В зависимости от географических условий оказался очень велик и коэффициент изменчивости высоты растений, ветвистости, длины листьев, длины колоса. Резко варьировало количество белка, крахмала в семенах пшеницы, ячменя, овса и ржи. В семенах льна изменялся состав масла, содержание в нем насыщенных и ненасыщенных кислот. В результате, например, на крайнем юге масло льна становилось жидким, непригодным для олифы.

Разрабатывая проблему географической изменчивости М.В. Культиасов (1963) в своих исследованиях посвященных теории приспособления растений, показал, что **в первую очередь температура, и осадки в их зональном выражении имеют наибольшее влияние на растительный покров, определяя различные условия для роста и развития растений и их продуктивности.** На этом основании, как заключает М.В. Культиасов (1963:8), сопоставляя данные о продуктивности растений с климатическими условиями их обитания можно сделать вывод о наиболее благоприятных режимах для продуцирования растениями органического вещества. Так, для арктической тундры валовый запас надземной растительной массы равен 12 ц/га, а годичный прирост 7 ц/га. Климат характеризуется здесь годовым количеством осадков 151мм и среднегодовой температурой минус 15,7°С.

В зоне широколиственных лесов, как отмечает М.В. Культиасов по данным Е.М. Лавренко, В.Н. Андреева и В.Л.Леонтьева (1955), валовый запас надземной растительной массы равен 1600 ц/га, а годовой прирост – 56 ц/га. Такая продуктивность формируется уже при 526мм осадков в год и среднегодовой температуре плюс 4,9 °С.

Валовый запас и годичный прирост надземной массы для типичной дерновинно-злаковой степи равны 10 ц/га. Здесь климат более засушлив (465 мм/год), а температура выше (7,7 °С). Сравнивая эти данные, М.В.Культиасов вслед за другими исследователями также констатирует определенную закономерность в связи продуктивности растений с показателями климатических условий зон.

Сходные закономерности он отмечает и для горных районов. Так, для растительности эфемерной пустыни на подгорной равнине к северо-за-

паду от Ташкента валовый запас надземной массы растительности равен 10 ц/га сухой массы. С подъемом в горы (от 400м до 1200-1800м над уровнем моря) в поясе разнотравной сухой степи вес растительной массы равен уже 43 ц/га. Далее в поясе древесно-кустарниковой растительности ее вес доходит до 403 ц/га. Такая трансформация продуктивности растений имеет место именно за счет изменения в первую очередь климатического режима местности.

Наличие закономерностей в изменчивости продуктивности растений в зависимости от варьирования климатических условий местности нашло подтверждение для всего земного шара в огромном количестве работ исследователей. Особенно в период выполнения международных программ ЮНЕСКО по изучению биологической продуктивности растительных сообществ, а также программ «Человек и биосфера». Они опубликованы в сводках «Общие теоретические проблемы биологической продуктивности» (1969), «Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах» (1971) и многих других.

Наряду с продуктивностью растений климатом местности определяются и закономерности их биохимической реакции. Еще Ч.Дарвин (1896,1937) проиллюстрировал многие факты биохимической изменчивости у растений в зависимости от климатических условий среды их обитания. Так, болиголов, выращенный в Шотландии, терял свою ядовитость. Лавр в Европе терял запах, а фиштак на юге Франции не синтезировала мастики. Это явление нашло свое отражение и в трудах Л.С.Иванова (1924), которым разработана теория климатической изменчивости химизма у растений.

В.П.Малеев (1933:125) также констатирует, что **изменения внешних, главным образом климатических условий, вызывают у растений целый ряд биохимических модификаций не только количественных, но и качественных.** Такая изменчивость наблюдается, например, в отношении содержания эфирных масел. В жарком и сухом климате количество эфирных масел в растениях становится больше. Кроме того, и состав эфирных масел также может изменяться. Так, во влажном климате Англии лаванда образует масло с содержанием уксусного эфира Линалоля в количестве 5-10%, тогда как в сухих районах Франции, 25-30%, а иногда до 50%.

Сказанное выше находит подтверждение и в исследованиях И.Н.Коновалова (1957), который, анализируя экспериментальные данные, приходит к заключению, о том, что при выращивании растений в

новых климатических условиях в первую очередь меняются физиологические и биохимические особенности растений. На изменение внешних условий растения отвечают, прежде всего, изменением своих функций.

Рассматривая особенности биохимической изменчивости растений, Б.А.Рубин (1957) экспериментально показал, что при продвижении культуры масличных растений с севера на юг наблюдается неуклонное снижение содержания масла и непредельных жирных кислот. Параллельно этому возрастает абсолютное и относительное содержание насыщенных жирных кислот. Б.А.Рубин приводит примеры таких изменений у льна, ясеня, роз и других растений. Так, у льна с изменением географической широты местности закономерно меняется содержание олеиновой и линоленовой кислот. Вследствие высокого содержания эфирного масла ясенец, растущий в Средней Азии, причиняет сильные ожоги, столь же опасные и трудно заживающие, как и ожоги от иприта, тогда как в Московской области он совершенно безобидное растение. Хинное дерево, выращенное за пределами своего обычного комплекса условий обитания, теряет способность синтезировать хинин. В зависимости от разнообразия среды обитания у казанлыкской розы наблюдаются колебания процессов синтеза розового масла и его качества.

Как затем было показано В.Л.Кретовичем (1961), сдвиги в обмене веществ у растений под влиянием меняющихся условий существования происходят именно из-за соответствующих им **изменений в ферментативных системах растений.**

В связи с рассматриваемой проблемой уместно остановиться еще на вопросах экологической изменчивости **морфологических признаков** у растений. Многочисленные факты в данном аспекте особенно ярко иллюстрируются экспериментами по интродукции растений. Так, М.В.Культиасов (1938, 1963) сравнивая поведение растений тау-сагыза в природных условиях в горах Каратау, установил, что при улучшении условий для роста и развития (свет, влага, температура и др.) значительно изменяется не только продуктивность, но и морфологическое строение у растений. По заключению И.Н.Коновалова (1957), все материалы по интродукции растений свидетельствуют о том, что **при изменении климатических условий меняется их морфолого-анатомическая структура, происходят перемены в форме и структурных особенностях пластид, нарушается порядок чередования размеров листьев, меняются размеры и характер жилкований и опушения покровных тканей листа и т.д.**

Н.А.Аврорин (1957), подводя итоги переноса растений в климатические условия Полярно-Альпийского ботанического сада, констатирует, что при переселении изменения ритмов развития растений иногда заходят так далеко, что **меняется биологический тип растения**. Для полярного севера характерно повышение долголетия многолетников. Например, аквилегия железковая, фиалка алтайская, мак полостебельный и другие растения Алтая полноценно живут в Кировске более чем по 15 лет. У злака из холодной высокогорной пустыни Восточного Памира – волоснеца поникшего в Полярно-альпийском ботаническом саду изменилась не только форма соцветия, но и величина колосковых и цветочных чешуй. У анемоны волосистой с Алтая диаметр цветка здесь увеличился в полтора раза. Также примерно в полтора раза увеличились в поперечнике цветки у купавы азиатской с Алтая, лютика кавказского из Бакуриани, герани луговой из Восточных Саян. Подобные изменения произошли у представителей весьма различных семейств – от злаков до сложноцветных.

Специальным исследованиям, иллюстрирующим роль и многообразие экологической изменчивости морфологии растений, посвящены работы И.Г.Серебрякова (1962), а также С.А.Мамаева и его школы (Мамаев, 1968, 1969, 1971, 1972). Огромный материал по морфологической изменчивости под действием экофакторов у древесных растений накоплен геоботаниками и лесоводами (Карпов, 1969). Их работами раскрывается влияние среды обитания на габитус кроны деревьев, их облиственность, размеры листьев, развитость корневой системы и др.

Кроме того, среда существенно влияет и на **феноритмику** растительных организмов. Например, даже такие растения с опадающей листвой, как персик, айва, яблоня, дуб черешчатый, шелковица и другие, могут возвращаться к вечнозелености, если их перенести в условия тропического леса (Культиасов, 1963, Вальтер, 1974). Под действием экофакторов наблюдаются сокращение, удлинение и даже выпадение фаз роста и развития (Зайцев, 1981). Действием среды обитания может определяться режим протекания фазы активного роста у интродуцированных растений, а также ее прерывание в середине периода вегетации (Беспаяев, Проскуряков, 1981),

Важно отметить, что **изменения свойств растений под действием среды носят комплексный характер**. Это наглядно иллюстрируется наблюдениями Ф.Н. Русанова (1957). Ф.Н. Русанов констатирует, что при переносе растений в новые для них климатические условия Средней Азии реакция интродуцентов оказывается многовекторной. Она выражается в

габитуальных изменениях, изменениях морфологии органов, сдвигах роста и развития, а также в усилении плодоношения, быстром старении и т.д. Все это по наблюдениям Ф.Н. Русанова зависит от большей или меньшей выраженности континентальности климата той или иной части Средней Азии. Всюду в Средней Азии многие древесные породы рано приходят к плодоношению. Дуб и клен плодоносят с 8-го года жизни. В питомниках ботанического сада города Ташкента 6 видов берез начали плодоносить на 3-м году жизни. В Туркмении, в Бухарском оазисе и ряде других мест с особенно резким проявлением континентальности климата большинство древесных пород стало низкоствольными, сильно, но мелковетвящимися, приобретшими зонтиковидные или пиниевидные кроны. Листья деревьев здесь приобретают кожистый, почти суккулентный вид. Лесная сосна становится здесь мелкоиглой. У айланты часто бывает больше плодов, чем листьев. Клены, ясени, дубы, белая акация, гледичия, канадский багряник плодоносят чрезвычайно обильно.

С.Я.Соколов (1957), обобщая состояние теории и интродукции растений, приходит к выводу о том, что **растения при интродукции в новые климатические условия, так или иначе, но всегда перерабатывают свою экологическую структуру.**

Как показал Б.Н.Головкин (1988), в результате переноса растений на новые территории создаваемый культигенный ареал растений, интродуцированных человеком, оказывается разным на всем своем протяжении, что связано с неоднородностью новой среды обитания. В нем можно выделить области, в которых прослеживаются все градации жизненности вида. Так, в эколого-морфологическом аспекте имеет место выделение области ареала, где культура возможна лишь с **изменением жизненной формы таксона**: превращением дерева в стланик, кустарник, пневую бесштабную поросль и т.д. Возможно фенологическое подразделение ареала на области, где растения могут проходить сезонный цикл полностью или частично, с разной степенью периодичности в зависимости от климатических условий.

К настоящему времени, когда потепление климата идет уже более трех десятилетий, можно уже достоверно констатировать факт наличия крупномасштабных глобальных климатогенных изменений в характеристиках доминантов растительного покрова. Об этом убедительно свидетельствуют развивающиеся дендроклиматические и фенологические исследования.

Со стороны России в дендроклиматических исследованиях задействованы крупнейшие коллективы Института леса им. В.Н.Сукачева

Сибирского отделения РАН, Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН и Института географии РАН, которыми дендрохронологический мониторинг выполняется на базе большой сети географических пунктов, охватывающих всю территорию России (рис.5).

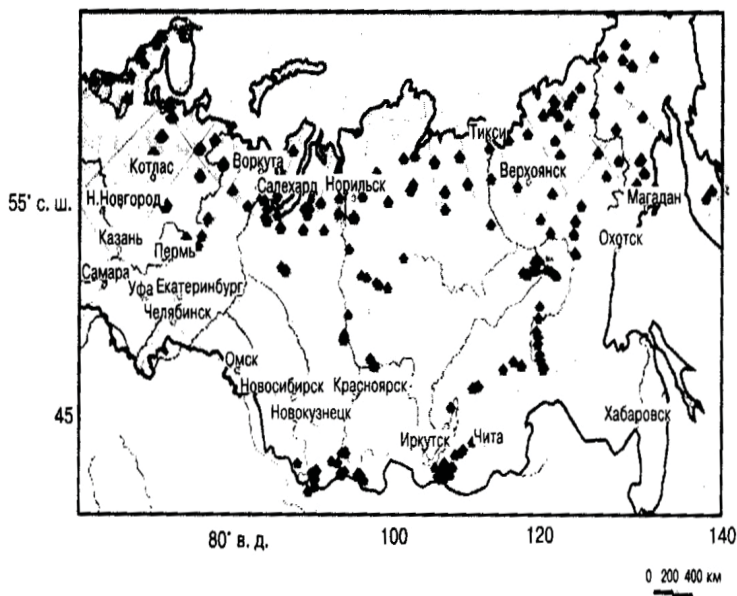


Рис.5. Сеть пунктов дендроклиматического мониторинга на территории России (по ОД, том П, 2008:34)

Создаются и международные банки дендроклиматических данных, куда интегрированы также и данные мониторинга в России. Основным исследуемый показатель этого мониторинга – радиальный прирост деревьев, а главная задача его изучения – выявление климатогенных изменений растительных систем на уровне стран или их крупных регионов. Другого столь же масштабного опыта развития мониторинга продуктивности растительных систем пока еще создать не удалось, что констатируется и авторами обстоятельного Оценочного Доклада (ОД, том П, 2008:21).

Представленные на рис.6 результаты исследований прироста древесных растений и материалы анализа дендроклиматического мониторинга, опубликованные в работах Е.А.Ваганова с соавторами (1996, 1999), свидетельствуют о фактах глубинных изменений всех биологических процессов регулирующих продуктивность растительных систем в период изменения климата.

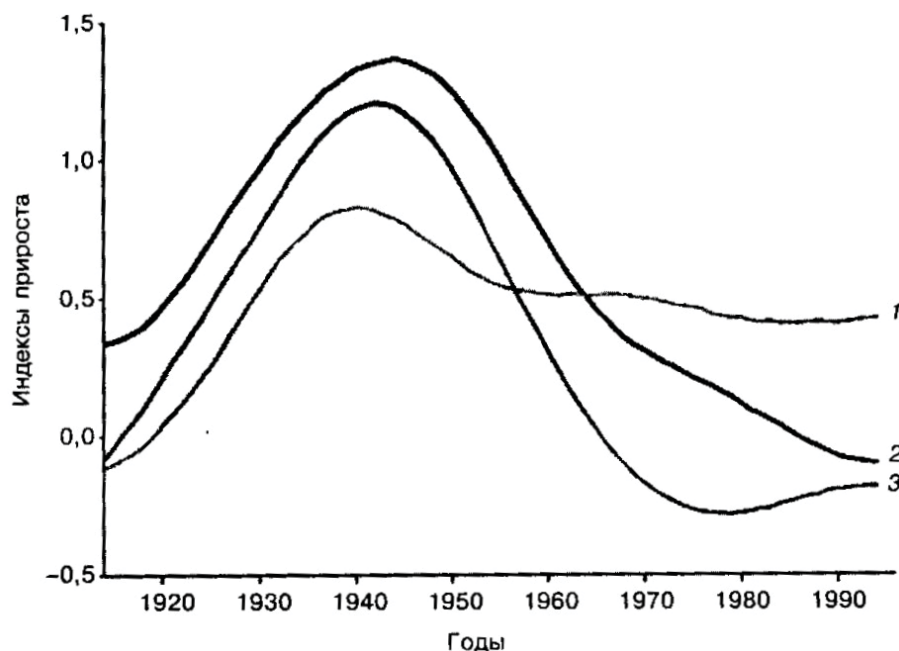


Рис. 6. Радиальный прирост деревьев (индексы прироста), произрастающих на полярной (1 – Индигирка; 2 – Таймыр) и верхней (в горах Тувы – 3) границах ареала на севере и юге Сибири (цит.по ОД, том 2. 2008:107).

Помимо исследований прироста деревьев в период изменения климата ведется и хорошо организованная работа по изучению фенологии растений. Фенологические наблюдения на территории Российской Федерации координируются Институтом глобального климата и экологии (ИГКЭ) Росгидромета и РАН с участием Русского географического общества. Только по европейской части территории России имеются более 100 пунктов, которые располагают фенологическими рядами 20 – 25-летнего периода наблюдений (ОД, том II, 2008). Сходным образом, как и в России, фенологические наблюдения организованы и в других странах (Menzel and Fabian, 1999). Притом в Европе интенсивно развивается работа по межгосударственной унификации методик и одновременно развитию межнациональной европейской системы фенологических наблюдений (Growth Stages, 1997).

В результате таких фенологических наблюдений удалось выяснить, что **в период изменения климата уже произошли очень существенные сдвиги сроков наступления даты начала цветения, сокодвиже-**

ния, распускания листьев, изменении длительности периода вегетации, даты окончания листопада и многих других характеристик фенособытий. (Минин, 2000; Венгеров и др., 2001; Волков и др., 2001; Гордиенко, Леванова, 2001; Онищенко, Салпагаров, Дега, 2001; Осипов, Реймерс, Рымкевич, 2001; Семенов, Кухта, Гельвер, 2004; Воскова, 2006; Гордиенко, Минин, 2006; Минин, 2006; Семенов, Ясюкевич и др., 2006).

В развитие сказанного остановимся теперь на материалах национальных сообщений России и Казахстана в той их части, где дается **анализ будущего изменения растительного покрова территории северных широт.**

По прогнозу цитированного выше «Пятого национального сообщения Российской Федерации» (2010) из-за потепления климата границы растительных зон будут сдвигаться к северу, а в Сибири площадь лесов сократится при одновременном увеличении флористического разнообразия. В связи с изменением климата по оценкам авторов этого сообщения в ряде регионов России уже произошли заметные сдвиги сроков фенологических событий у растений и животных во времени и границ растительных зон в пространстве, а также изменения структуры экосистем. При дальнейшем потеплении в XXI веке эти тенденции сохранятся. Границы растительных зон будут, как правило, сдвигаться к северу. При этом на европейской территории России лесная зона будет расширяться как к северу, так и, возможно, при гумидном потеплении, к югу. А в Сибири площадь лесов может сократиться при одновременном увеличении флористического разнообразия. Потенциально фенологические изменения могут приводить к рассогласованию межвидовых взаимодействий в экосистемах.

По прогнозу «Второго национального сообщения Республики Казахстан Конференции сторон рамочной конвенции ООН об изменении климата» (2009) при наблюдающейся трансформации климата новые погодные условия будут неблагоприятными для возделывания яровой пшеницы в северных областях республики. Уже происходящее практически во все периоды года повышение средней температуры воздуха приведет к смещению к северу, а в горных районах – вверх, границ климатических зон, и, как следствие, к нарушению устойчивости лесных экосистем. В Казахстане большинство лесобразующих пород, как известно, произрастает на границах своего естественного ареала. Поэтому на равнинных территориях изменения температуры воздуха и условий увлажнения создадут условия невозможные для существования сосны, пихты, лиственницы и кедра. Это приведет к смене ценных хвойных древесных

насаждений на менее ценные – лиственные и кустарниковые. Пихтовые леса могут исчезнуть с территории хребта Жетысуйского Алатау и останутся лишь на небольшой площади в Восточно-Казахстанской области. Дальнейшее изменение климата Казахстана такими темпами приведет к быстрой гибели существующих экосистем.

Прогнозируя будущие изменения растительного покрова, авторы цитированных выше сообщений предсказывают, что границы лесов из более холодостойких пород будут передвигаться в районы с более прохладным климатом, уступая свою территорию менее холодостойким породам деревьев и кустарников. Однако, как представляется, процесс этот может пойти и по другому, гораздо худшему сценарию. Как известно, длительность жизни разных древесных пород варьирует в очень широких пределах. И, следовательно, ранее сформировавшиеся леса из долгоживущих деревьев и кустарников будут занимать свои экологические ниши многократно дольше, чем леса из недолговечных пород. За то время, пока первые освободят занимаемые ими экотопы, запас семян и вегетативного материала для возобновления недолговечных пород деревьев и кустарников будет уже исчерпан и они просто исчезнут из состава флоры. Тем самым будет нанесен не только огромный ущерб растительному покрову, его функциям, но и навсегда утрачен ценнейший и уникальнейший мировой генофонд растений.

В дополнение к сказанному выше уместно отметить, что и многолетние **хронобиологические исследования на территории Республики Казахстан уже позволили статистически достоверно констатировать начало процесса трансформации растительного покрова связанного с изменением климата.** На примере крупного экологического полигона протяженностью от Северного Тянь-Шаня до Южного Прибалхашья удалось выяснить, что здесь происходящие изменения климата вызвали весьма существенные изменения в самых главных процессах жизни растений. Определенная часть видов растений начала испытывать сильное угнетение. Дата начала их цветения сдвинулась на 15-20 дней (Проскураков, 2002а, 2009а, 2009г, 2011а). Статистически достоверно сократился период вегетации, снизилась (иногда в два раза) высота растений. Падает биологическая продуктивность. Общая продуктивность медоносной базы и обусловленная этим результативность опыления растений таких крупных регионов как Южное Прибалхашье и Приаралье многократно сократились. А часть энтомофильных видов растений вообще утратила способность выделять нектар для привлечения насекомых – опылителей. В итоге семенное размножение этих растений уже

прекратилось. И, соответственно, у них исчезла возможность приспосабливаться к новому климату за счет перекомбинации генотипа. Участвовавшие же в их опылении насекомые испытывают недостаток пищи, и это угрожает их существованию. Происходящие изменения режима среды обитания здесь не отвечают биологическим требованиям ряда видов растений, отрицательно действуют на их репродукцию, рост и развитие. По данным причинам в дальнейшем они могут просто исчезнуть. А это приведет к снижению продуктивности кормовой базы животноводства, рекреационной, водоохраной, почвозащитной роли растительного покрова, деградации его биоразнообразия в целом (Проскуряков, 2002а,б; 2003; 2005; 2006; 2007а,б,в; 2008в; 2009а,б).

С общебиологических позиций угнетающее действие высоких температур на жизнедеятельность растительных организмов не в связи с их обезвоживанием широко рассматривалось физиологами (Альтергот, 1965, 1981; Ахматов, 1976; Манойленко, 1988). Было экспериментально доказано, что под действием супероптимальных температур (свыше 30°C) подавляются общая синтетическая способность растений, интенсивность фотосинтеза и дыхание. Нарушается сопряженность окислительных и синтетических процессов, тормозятся рост и развитие растений, снижается их иммунитет. Поэтому в Казахстане **роль сверхвысоких температур изучалась для определения критических пороговых значений климатического режима**, при которых может происходить трансформация растительного покрова связанная с нарушением нектаровыделения энтомофилов. Объектом служила совокупность энтомофильных тугайных растений Южного Прибалхашья. Исследование данной связи крайне важно потому, что от успешности процесса нектаровыделения напрямую зависит семенное размножение растений, а, следовательно, и их возможность приспосабливаться к новым условиям меняющегося климата.

Материалы выполненных в Казахстане многолетних исследований позволили выяснить, что высокая продуктивность нектаровыделения сохраняется в очень узком диапазоне температурного режима воздуха. **Любое изменение климата, как в сторону потепления, так и похолодания неизбежно вызовет нарушение в режиме нектаровыделения растений и связанного с этим процесса их репродукции** (Проскуряков, 2002б; 2003; 2005). Эти результаты исследований отражают выработанную в процессе эволюции картину адаптации энтомофильных растений к колебаниям климата местности. Притом за весь период их прежнего существования. И потому на основе установленных

закономерностей можно уже сейчас предвидеть, что будет происходить при глобальном изменении климата.

Наконец, здесь уместно отметить еще один важный аспект изменения растительного покрова связанный с трансформацией климата. Он обсуждается в уже упомянутой выше работе: «Специальный доклад Рабочей группы II МГЭИК. Последствия изменения климата для регионов: оценка уязвимости» (1997). По данным составителей доклада изменение климата будет происходить более быстрыми темпами, чем скорость, с которой произрастают, воспроизводятся и самовосстанавливаются лесные виды растений (считается, что скорость миграции различных видов деревьев в прошлом составляла порядка 4-200 км в столетие). В том, что касается регионов в средних широтах, то среднее потепление на 1-3,5°C в следующие 100 лет будет означать перемещение существующих географических зон с одинаковыми температурами (или “изотерм”) в направлении к полюсам примерно на 150-550км, или перемещение по высоте в горах примерно на 150-550м. Поскольку прогнозируемая скорость изменения климата будет больше скорости, с которой различные виды могут самовосстанавливаться, а также вследствие изоляции и фрагментации многих экосистем, существования множественных стрессов (например: изменения землепользования, загрязнения) и ограниченности вариантов адаптации, экосистемы являются весьма уязвимыми для воздействий изменения климата. По этим причинам, как заключают эксперты, состав видов растений в лесах, по всей вероятности, изменится. В некоторых регионах могут полностью исчезнуть целые типы лесов, и одновременно с этим могут возникнуть новые совокупности видов и новые экосистемы.

Пока климат нашей планеты был относительно стабилен, для понимания его роли в жизни растений оказывалось вполне достаточно знать и учитывать характеристику только действующих климатических факторов. Например, – режима температуры, влажности, осадков и пр. Но, как мы могли убедиться, вместе с начавшимся процессом изменения климата **состояние климатообразующих факторов начало меняться во времени.** Поэтому для исследования процесса изменения растительного покрова теперь уже важно знать не только характеристику климатообразующих факторов, диапазон варьирования, скорость их изменения и географические масштабы этих изменений. Не менее важно учитывать и фактор времени, в течение которого они будут действовать на растительный покров. Отсюда возникает проблема хронобиологического анализа растительного покрова в

период трансформации климата. Целесообразность развития хронобиологических исследований, хотя и не в связи с изменениями климата, в свое время подчеркивалось и Л.Г.Раменским. Он писал: «Хронологические ряды – результат стационарных наблюдений над сменами условий и растительности в течение ряда лет. Эти наблюдения освещают вопросы состава растительности, устойчивости и смены растительных группировок в зависимости от разнообразных изменений внешних условий» (Раменский, 1938:154).

Основные задачи хронобиологических исследований – общие для всех стран, т.к. климат меняется повсеместно. Ведь интенсивность и характер биологических процессов у растений будут повсеместно сопряжены с продолжительностью действия и состоянием нового климатического режима. И в данной связи все рассмотренные выше теоретические, аналитические и накопленные фактические материалы в своей совокупности представляют важнейшую часть научной основы для решения проблемы хронобиологического анализа растительного покрова в период трансформации климата.

Заключение

Вызванные трансформирующимся климатом изменения растительного покрова уже начались, что настоятельно требует скорейшей организации и повсеместного выполнения хронобиологического анализа уязвимости растительных систем, изучения временного хода происходящих изменений. Необходимость предвидеть неизбежное и ослаблять случившееся дает направление всей стратегии работы по хронобиологическому анализу при глобальных изменениях климата. И в свете этого, подводя итоги обсуждению рассмотренных выше материалов, можно заключить следующее.

1. Глобальные изменения климата неизбежно приведут к обеднению видового состава растительных сообществ, изменению их продуктивности, валового запаса биомассы, годового прироста растений, интенсивности плодоношения. Изменится динамика роста и развития растений; их биохимическая реакция и биохимические модификации. Произойдут изменения в ферментативных системах и физиологических процессах. Трансформируется морфологическое строение, габитус растений, облиственность, размеры листьев, развитость корневых систем и даже жизненная форма. Учащаются случаи проявления вечнозелености растений. Произойдет сдвиг фаз роста и развития, изменится скорость

их протекания, выпадут отдельные фазы развития, появятся нарушения феноритмики у растений. Изменится скорость старения и долголетие организмов. Будет безвозвратно утрачен ценнейший генофонд растений. Разрушится вся прежняя картина распределения видового состава и продуктивности растительного покрова. **Происходящее потепление климата неизбежно повлечет за собою глубокую разбалансировку растительных систем и «великое переселение» видов, а также коренные изменения общей продуктивности, биологической устойчивости и биоразнообразия всего растительного покрова Земли.**

2. Изменения свойств растений под действием меняющейся климатической среды обитания носят закономерный, а не хаотичный характер. Их можно исследовать аналитически. Поэтому **путем хронобиологического анализа материалов преемственных наблюдений на постоянных пробных площадях**, заложенных в пределах ценопопуляций, фитоценозов, или биоценозов конкретных участков земной территории, **можно определять степень уязвимости и временной ход трансформации свойств растений в процессе изменения климата.**

3. Для широкого и эффективного практического использования результатов хронобиологического анализа полученных на постоянных пробных площадях **необходимо создать сеть таких площадей репрезентативную для ключевых объектов растительного покрова.** Ключевые объекты хронобиологического анализа должны быть подобраны таким образом, **чтобы на их основе можно было выполнять интерполяционный прогноз результатов хронобиологического анализа на экологические ситуации промежуточные между теми, где расположены ключевые объекты.** В данной связи ключевые объекты должны быть предварительно ординированы с учетом географической изменчивости характеристик растительного покрова имевшей место перед началом и в процессе глобальной трансформации климата.

4. **Научной основой для интерполяционного прогнозирования** результатов хронобиологического анализа является рассмотренное выше объективно зафиксированное биологической наукой наличие закономерной изменчивости продуктивности, размещения, морфологии, физиологии, химизма, приспособительных реакций и прочих характеристик растений в зависимости от климатической среды их обитания. **Фактической основой интерполяционного прогнозирования** будут накопленные в процессе трансформации климата Земли данные по изменчивости свойств растений, базирующиеся на материалах выполненных прямых наблюдений в природных условиях.

5. Работа на ключевых объектах должна быть организована по единой методике и координироваться на межгосударственном уровне. Для оперативности сбора, переработки информации и систематизации накопленной базы данных необходимо создание специальной программы ЭВМ. Накопление и систематизация материалов исследований по ключевым объектам позволят **создать контрольную базу данных для выполнения краткосрочно – поэтапного и длиннопериодного хронобиологического анализа растительного покрова** во время глобальной трансформации климата.

Меняющийся климат уже вызвал существенные изменения в жизни растений. Они идут очень быстро. Но пока еще в скрытой форме. На физиологическом, биохимическом, фенологическом уровнях. На уровне ростовых процессов. Детерминируемая ими грядущая трансформация структуры растительного покрова неизбежно будет связана с огромными потерями его продуктивности, утратой накопленного миллионами лет эволюции исключительно богатого генофонда растений, деградацией биоразнообразия растительного покрова в целом. И еще неизвестно, какой станет дальнейшая жизнь у тех видов растений, которые пока не испытывают угнетения.

Без хронобиологического анализа изменений связанных с трансформацией климата нельзя вести рациональное природопользование и сохранить биоразнообразие растительного покрова нашей планеты. Никакие попытки инновационных разработок и рекомендаций в области ботанических исследований уже не будут успешными. Сегодня это самая актуальная проблема инновационных направлений геоботаники, фитоценологии, лесоведения, биогеоценологии, ботанического ресурсоведения, интродукции растений, растениеводства, лесоводства, флористических и генетических исследований. И потому в настоящее время она должна занять центральное место в науках о растительном покрове Земли.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА АНАЛИЗА

Как уже было отмечено, в период изменения климата проблема анализа уязвимости природных систем и возобновляемых ресурсов вызывает особую тревогу ученых. И потому этой проблеме посвящен обстоятельный доклад самой авторитетной сегодня Межгосударственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Центральное место ее рассмотрению отводится и в работе стран выполняющих исследования согласно Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, которыми рекомендации МГЭИК были приняты за основу.

Под уязвимостью экспертами МГЭИК понимается способность природной системы противостоять воздействию изменения климата. **Сильно уязвимой они считают такую систему, которая чувствительна даже к небольшим изменениям климата.** Притом для оценки уязвимости предлагается учитывать не только неблагоприятные воздействия климата, но и благоприятные. Уязвимость считается функцией чувствительности и адаптационной способности системы к изменениям в климате. На этих основаниях применяется следующее символическое соотношение категорий чувствительности, адаптационной способности и уязвимости природных систем:

$$\text{УЯЗВИМОСТЬ} = \frac{\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ}}{\text{АДАПТАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ}}$$

В соответствии с приведенной символической формулой принято считать, что уязвимость тем больше, чем больше чувствительность при заданной адаптационной способности. А увеличение последней уменьшает уязвимость (ОД. Том II. 2008:12). Но многие вопросы количественной оценки уязвимости природных систем по рассмотренной выше формуле пока еще находятся в стадии разработки. Поэтому авторы данной концепции констатируют, что оценка уязвимости природных систем по регионам нередко носит качественный характер (Специальный доклад Рабочей группы II МГЭИК. Последствия изменения климата для регионов: оценка уязвимости, 1997; Русский архипелаг, 2011; Climate Change, 2001).

Как представляется, адаптационная способность растительной системы определяется уровнем реакции всех ее единиц на изменение факто-

ров окружающей среды и взаимодействием составляющих ее частей. А структурная устойчивость растительной системы в целом определяется устойчивостью самого слабого звена в соответствии с законом минимума, по которому устойчивость целого зависит от наименьших относительных сопротивлений всех его частей во всякий момент (Богданов, 1925-1929; Тахтаджан, 1972). Отсюда совершенно очевидна **острая необходимость и актуальность решения проблемы именно количественного анализа адаптационной способности и устойчивости растительной системы** от детерминируемых климатом ее изменений, ведущих в сторону улучшения, сохранения или разрушения.

Но уязвимость растительных систем в меняющихся условиях среды зависит от большого числа факторов и их взаимодействия. Поэтому проблема уязвимости и трансформации растительных систем при изменении климата не может быть решена путем исследования реакции растений лишь на какой-либо один климатический фактор. Даже в период глобального потепления, когда ведущим является температурный режим. Ведь и температура оказывает не только прямое влияние на состояние и функционирование растений и формируемых ими систем. Наряду с тем при изменении температурного режима возникает эффект его сопряженного и опосредованного воздействия на растительные системы вместе со всем имеющимся сложнейшим комплексом геофизических, геохимических и биотических факторов. При этом, чем сложнее структура растительной системы, тем она устойчивее к естественным колебаниям условий среды. Резкое изменение ведущих факторов климата может быть сопряжено с летальной уязвимостью для системообразующих компонентов, нарушением цепей питания, изменением мест размножения, убежищ для различных обитателей системы. Полного разрушения растительной системы может и не произойти, если прекратится накопление отрицательно действующих факторов и естественно протекающие восстановительные процессы смогут вернуть систему к относительной устойчивости в прежнем или откорректированном виде. Системы же находящиеся в состоянии неустойчивого равновесия, при значительном воздействии на системообразующие единицы, могут полностью изменить структуру и сдвинуть равновесие в сторону устойчивого состояния с полным исчезновением части прежних растительных компонентов, естественное восстановление которых в обозримом будущем проблематично. **Таким образом, приходится констатировать, что возможности оценить уязвимость растительной системы как целостности, ввиду ее очевидной сложности, весьма ограничены.**

Однако решение задачи дифференцированного исследования уязвимости каждого из входящих в растительную систему компонентов вполне осуществимо. Это можно сделать путем их хронобиологического анализа. Хронобиологический анализ сдвигов характеристик по времени изменения климата поможет определить реактивность системообразующих компонентов растительных ассоциаций, индикаторных представителей растительной системы, **а уже на этой дифференцированной основе удастся оценивать стабильность или уязвимость анализируемой растительной системы в целом.** Если у системообразующих компонентов обнаружится повышенная вариабельность характеристик без ущерба для выживаемости системы, то она окажется устойчивой по отношению к меняющимся во времени факторам окружающей среды. Если же обнаруженные сдвиги характеристик компонентов растительных систем окажутся существенными, угрожают выживаемости растительной системы, превышают уровень ее адаптационной способности, то это будет свидетельствовать о ее уязвимости. Тогда это даст основания для всестороннего и углубленного изучения реактивности растительных систем на изменение климата и принятия действенных мер по предотвращению их разрушения. **Хронобиологический анализ растительных систем будет основываться на количественном исследовании реакции характеристик составляющих их компонентов во времени изменения климатических условий.** И, хотя результаты его не могут в исчерпывающей мере раскрыть биологическую суть происходящих процессов, они дадут возможность получать количественную оценку изменений устойчивости и уязвимости показателей растительных систем.

Изменение признаков растительных объектов во времени образует так называемые ряды динамики (другие названия: временные ряды, динамические ряды, хронологические ряды). И в биологических исследованиях анализ таких рядов принято выполнять путем выявления главной тенденции временной изменчивости биологических показателей (тренда). Для этого временной ряд изображают в виде линейного графика в системе прямоугольных координат. По оси абсцисс откладывают временные точки (годы) а по оси ординат – значения характеристик изучаемых показателей растительных систем. Целесообразность исследования рядов динамики (как хронологических рядов) отмечалась уже на ранних этапах становления геоботаники Л.Г.Раменским(1936), который констатировал, что хронологические ряды, как результат стационарных наблюдений над показателями растительности в течение ряда лет, по-

звolyют проследить изменения состава растительности, устойчивости и смены растительных группировок во времени. С началом изменения климата данный подход получил особенно большое применение (Ваганов, Шиятов, Мазепа, 1996; Ваганов, Шиятов, 1999; Минин, 1991, 2000, 2002, 2006; Венгеров и др., 2001; Волков и др., 2001; Гордиенко, Леванова, 2001; Онищенко, Салпагаров, Дега, 2001; Осипов, Реймерс, Рымкевич, 2001; Семенов, Кухта, Гельвер, 2004; Воскова, 2006; Гордиенко, Минин, 2006; Семенов, Ясюкевич с соавт., 2006; Грудзинская, Арыспаева, 2011). А его главные результаты нашли широкое освещение в материалах Национальных сообщений стран – участников исследований климатогенных изменений природы (см., например, – Второе Национальное сообщение Республики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 2009; Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т.1. Изменения климата, 2008; Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т.П. Последствия изменения климата, 2008; Пятое национальное сообщение Российской Федерации, 2010). Однако решения задач на уровне рядов динамики, несмотря на их исключительную ценность и информативность, еще не позволяли с наибольшей отдачей применить имеющийся арсенал статистического анализа. Тем самым ограничивались и возможности количественного анализа климатогенной уязвимости растительных объектов.

Накопленный опыт исследований (Проскуряков, 2008а,б; 2009а,б) показал, что результативность **хронобиологического анализа уязвимости растительных систем можно существенно повысить путем сопряженного использования основных положений о процессуальных системах, принципа «черного ящика», а также методов корреляционного и регрессионного анализа**. Кратко остановимся на этих составляющих анализа.

В соответствии с общепринятыми положениями **работа любой процессуальной системы понимается как последовательность смены явлений, состояний во времени развития какого-либо процесса**. Основным понятием здесь является понятие периода жизни, т.е. временного интервала, в течение которого данная система существует. При этом именно **период жизни рассматривается как вход в систему**. Период жизни процессуальной системы (T) разбивается на ряд состояний: от S_{to} ... до S_{tn} (Горохов, 1972; Никаноров, 1972; Садовский, 1972; Гаазе-Рапопорт, 1973; Юдин, 1973а,б). Понятие же «черный

ящик» употребляется в системотехнике для обозначения систем, структура и внутренние процессы которых неизвестны или очень сложны (Советский энциклопедический словарь, 1980). **Метод изучения таких систем основан на исследовании их реакций на известные (заданные) входные воздействия. Изучая зависимость между входом и выходом «черного ящика» можно предсказывать его поведение, не зная, как он устроен из более простых компонентов** (Вентцель, 1969; Юдин, 1972, Одум, 1975).

Как представляется, при разработке методологической основы эти общие положения системного анализа вполне применимы и для решения проблемы хронобиологического анализа растительных систем. И действительно, – **в режиме времени изменения климата каждую растительную систему можно объективно рассматривать как процессуальную систему**. Притом, в свете вышеизложенных положений, для того, чтобы получить точные сведения о результатах работы данной системы, нам не обязательно знать, как она устроена и как работают ее составные части. То есть все внутренние процессы, и компоненты растительной системы на определенном этапе исследования могут не приниматься в расчет. Их можно отнести к содержимому упомянутого выше «черного ящика». Изучаться будет только связь между входом и выходом системы. При этом **исследуя связь между входом в такую процессуальную систему (периодом ее жизни) и ее выходом (результатами работы системы), можно выяснить динамику важнейших характеристик биологических показателей**.

Тогда в обобщенном виде схема работы процессуальной растительной системы представляется такой, как она изображена на рис.7. **Входом в рассматриваемую систему является период жизни** (интервал лет), в течение которого изучается работа системы. Его конкретными состояниями будут охваченные исследованиями **годы наблюдений**. **Выходом системы будут исследуемые показатели жизнеспособности и прочие свойства растительной системы, трансформируемые в период меняющегося климата. А все процессы и компоненты растительной системы в период изменяющегося климата можно представить в виде содержимого «черного ящика»**. В соответствии с вышеизложенным подходом **функцию растительной системы удастся описать без выяснения ее внутреннего содержания, даже не зная, как она устроена**. Для этого достаточно изучить зависимость между входом и выходом рассматриваемой растительной системы.

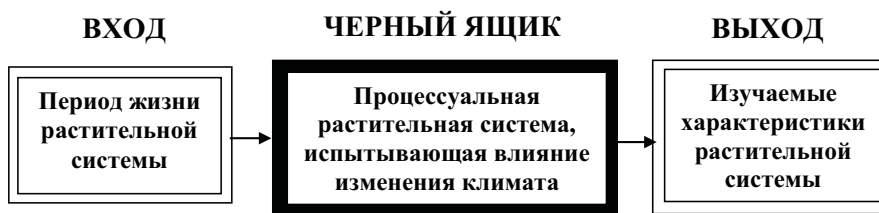


Рис.7. Схема работы процессуальной растительной системы.

В содержание «черного ящика» войдут процессы и структуры, определяющие трансформацию свойств растений под действием факторов меняющегося климата за тот период жизни, в течение которого функционирует рассматриваемая система. В этой связи в методологическом отношении при сборе материалов для хронобиологического анализа **важно стремиться к соблюдению принципа единства всех условий, кроме меняющегося климатического режима.** Данный принцип единственного логического различия в период изменения климата – неперменное условие хронобиологического изучения растительных систем. Под принципом единственного различия должно пониматься главное условие различия – наличие меняющегося климата. Но это единственное различие здесь, конечно, нельзя понимать механистически. А потому те изменения, которые происходят в растительной системе под влиянием климата, необходимо рассматривать как функции произведенного изменения.

Предлагаемый здесь **системный подход к хронобиологическому анализу растений при изменении климата** дает новые возможности для применения всего ранее наработанного арсенала теоретической основы, методов и алгоритмов корреляционного, регрессионного анализа. А также для применения методов анализа рядов динамики. Необходимые методические указания по статистическому анализу рядов динамики имеются во многих руководствах, где рассматриваются виды рядов динамики, аналитические показатели рядов динамики, их графическое изображение и даются рекомендации по методике расчетов абсолютной скорости изменения уровней ряда динамики.

Методы математической статистики позволяют количественно оценивать реакцию компонентов растительных систем на изменение условий среды во времени. Для этого необходимо рассчитывать статистические показатели связей, характеризующих соотношение стабильности или изменчивости ряда признаков отдельных компонентов растительной системы с временной шкалой за

репрезентативное число лет изменения климата. **Связь между характеристиками растительной системы и временной шкалой будет определяться с помощью соответствующих коэффициентов, дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов, построением эмпирических линий регрессии и их аналитических формул.** Результаты такого хронобиологического анализа позволят получать графические линии регрессии показателей жизнеспособности растений и аналитические формулы, количественно отражающие их временной ход в период изменения климата. Притом по уравнению регрессии или линии регрессии построенной графическим путем **можно будет судить о характере количественного изменения и значениях исследуемого признака** в диапазоне каждого этапа периода жизни данной процессуальной системы. **Это поможет определить реактивность и чувствительность системообразующих компонентов растительных ассоциаций, индикаторных представителей растительной системы.** Даст возможность оценивать **стабильность или уязвимость каждой растительной системы в динамике ее развития.** Обнаружит такие сдвиги характеристик растительных систем, которые окажутся существенными, угрожают выживаемости растительных систем, превышают уровень их адаптационной способности и свидетельствуют об их уязвимости. **Позволит статистически достоверно определять степень уязвимости показателей растительных систем и на основе знания устойчивостей компонентов системы делать заключение об уязвимости или устойчивости растительных систем в целом.**

Таким образом, путем анализа связи между входом и выходом изображенной на рис. 7 процессуальной растительной системы будут получены объективные, количественные и притом очень важные сведения. Станет возможным судить о развитии процесса изменения растительных систем в период трансформации климата. А все трудности, связанные с исследованием устройства «черного ящика», можно **временно** избежать. Предлагаемое методологическое решение позволит использовать и широко апробированные методы статистической обработки данных рядов динамики. Появится возможность исследовать большие массивы фактических материалов наблюдений за любые периоды трансформации климата. Удастся учесть результаты совместного эффекта влияния на свойства растений всей совокупности факторов (как климатических, так и детерминируемых ими биотических) меняющихся во время трансформации климатического режима.

При этом результаты хронобиологических исследований отразят действие содержащейся в «черном ящике» совокупности очень большого количества факторов и процессов, которые крайне сложно выделить и учесть в отдельности. Но достаточно измениться содержанию «черного ящика» в ту или иную сторону, как следом произойдут соответствующие закономерные изменения и в характеристике результатов работы процессуальной системы (на ее выходе). Притом в период изменения климата основным детерминирующим фактором регулирующим работу процессуальной системы является именно климат. Поэтому становится ясно, что для более глубокого понимания полученных результатов и эффективного применения системного анализа в качестве методологической основы все же важно еще учитывать и общее направление процессов развивающихся внутри «черного ящика».

Для наглядности обратимся к предлагаемой схеме возможных вариантов состояния процессуальной хронобиологической системы, где на выходе исследуется продуктивность растительного покрова (рис.8). Как показано на рис.8, если за исследуемый период жизни процессуальной растительной системы ее продуктивность неизменна (рис.8, позиция 1), то это является результатом того, что работа «черного ящика» не меняется, остается стабильной. Когда же продуктивность системы меняется в большую (рис.8, позиция 2) или в меньшую сторону (рис.8, позиция 3), то это будет обусловлено соответствующими изменениями в содержании «черного ящика». И для каждого из таких вариантов работы процессуальной системы будет иметь место разный характер и теснота связи между входом и выходом системы (Проскуряков,2011б).



Рис.8. Возможные варианты работы процессуальной растительной системы.

1 – продуктивность остается неизменной; 2 – продуктивность растет; 3 – продуктивность падает.

Показанное на рис. 8 **общее направление процессов развивающихся внутри процессуальной системы определяет два следующих основных варианта связи между ее входом и выходом.**

1. **Отсутствие связи между входом и выходом системы.** Оно будет свидетельствовать о стабильной работе процессуальной растительной системы, детерминированной постоянством ее содержания. В случае хронобиологического анализа именно **при относительно неизменном климатическом режиме местности мы и получим стабильные результаты характеристик на выходе растительной системы**, причем на каждом этапе периода ее жизни (рис.8-1). Иными словами свойства растительной системы при неизменном климатическом режиме также будут относительно неизменными. **Стабильное состояние процессуальной растительной системы нужно считать одним из закономерных вариантов ее работы.** Ведь даже в период изменения климата его движение не может быть непрерывным, а будет замедляться и останавливаться.

2. **Наличие связи между входом системы (периодом ее жизни) и ее выходом (характеристиками показателей растительной системы).** Это будет свидетельствовать о появлении изменений в работе процессуальной растительной системы, детерминированных изменением климата. При изменении климата местности по мере продвижения состояний фактора времени мы получим нарастающие на выходе изменения характеристик показателей растительной системы (рис.8, позиции 2 и 3). При этом **теснота связи между состояниями входа и выхода нашей процессуальной системы может возрастать до уровня неразрывной функциональной связи.**

Наличие тесной близкой к функциональной связи между характеристиками входа и выхода процессуальной системы будет являться объективным доказательством факта больших изменений в структуре процессуальной системы. Чем теснее связь, тем существеннее и глубже происходящие в ней изменения. Соответственно этому, **чем теснее связь, тем более уязвимо поведение растений в исследуемой нами процессуальной системе.** Отсюда становится ясно, что **оценивая силу связи между входом и выходом нашей системы, можно будет получить и числовые характеристики для определения степени уязвимости растительных систем в динамике меняющегося климата.**

Как известно, для оценки тесноты (силы) связи используют коэффициент корреляции и корреляционное отношение. Показатель «корреля-

ционное отношение» измеряет степень корреляции при любой ее форме, а коэффициентом корреляции оценивается только линейная связь. Но необходимо отметить, что при анализе биологических объектов чаще всего придется иметь дело с нелинейными связями, когда при одинаковых приращениях независимой переменной X зависимая переменная Y имеет неодинаковые приращения. Поэтому и в исследуемой процессуальной растительной системе связь между периодом жизни и характеристиками растительной системы имеет, как правило, криволинейный характер. Следовательно, основное внимание нужно уделять именно расчетам корреляционного отношения. Как показал опыт таких исследований (Проскуряков, 2009в, г; 2011а, б), **при изучении процессуальной растительной системы расчет корреляционного отношения между ее входом и выходом обязателен.**

Сила исследуемой связи может варьировать от нуля до уровня близкого к функциональной связи. Чем ближе корреляционное отношение (η_{yx}) к единице, тем сильнее сопряженность в изменчивости признаков, ближе к функциональной зависимость Y от X . Степень сопряженности в вариации двух величин при линейной корреляции более точно измеряется квадратом коэффициента корреляции (Снедекор, 1961:179; Доспехов, 1973:179). А при нелинейной зависимости – квадратом величины корреляционного отношения (Лакин, 1990:234). Эта характеристика тесноты связи, названная коэффициентом детерминации, показывает какая доля вариации обусловлена именно согласованным изменением Y и X . На данных основаниях существуют общепринятые в вариационной статистике количественные представления о слабой, средней и сильной корреляционной зависимости (Урбах, 1964; Доспехов, 1973; Плохинский, 1980; Лакин, 1990). Поэтому ориентируясь на них **можно дифференцировать и количественные оценки степени уязвимости растительных систем.** Исходя из общепринятых представлений о коэффициентах детерминации здесь можно предложить условную шкалу, которая позволит судить о тесноте связи между признаками, отражающей степень уязвимости показателей растительных систем. При $\eta_{yx} = 0,5 \div 0,6$ уязвимость можно считать средней; $\eta_{yx} < 0,5$ указывает на слабую уязвимость. А при $\eta_{yx} \geq 0,7$, когда около 50% вариации показателя растительной системы (Y) зависит от вариации X , можно констатировать сильную уязвимость.

В целом количественные оценки связи между отдельными показателями растительных систем с временной шкалой (периодом жиз-

ни системы) **могут определяться при вычислении ряда величин.** Не только коэффициентов корреляции, корреляционных отношений, но и регрессий. При этом при аргументе, которым является временная шкала, всегда оценивается регрессия Y по X .

В процессе хронобиологического анализа для показателей растительных систем должны рассчитываться критерий линейности корреляции, доверительные интервалы, значимость регрессии и т.д. Важным дополнением этого процесса является построение эмпирических линий регрессии, на основании которых при определенных ограничениях можно анализировать рабочие гипотезы. За каждый изученный период жизни растительной системы среднюю скорость изменения ее показателей можно рассчитать, пользуясь общепринятыми рекомендациями по анализу рядов динамики. Для решения такой задачи нужно определить среднюю арифметическую, или среднюю геометрическую скорость изменения анализируемого показателя растительной системы. Средняя геометрическая более точно характеризует ряд динамики. Но средняя арифметическая, как правило, незначительно отличается от средней геометрической. К тому же вычисление средней арифметической проще, чем средней геометрической. Поэтому вместо средней геометрической в качестве характеристики темпов динамики чаще используют среднюю арифметическую (Лакин, 1990:42-44; 271). **Скорость изменения характеристик растительных систем также относится к числу важнейших обобщающих числовых показателей их уязвимости.** А ее определение – вполне реальная задача количественного хронобиологического анализа растительных систем.

Алгоритмы изучения криволинейных корреляционных связей и проверки нулевой гипотезы ($H_0: \eta = 0$) выборочных статистических показателей общеизвестны (Урбах, 1964; Доспехов, 1973; Плохинский, 1980; Лакин, 1990). С их помощью можно определить корреляционное отношение, ошибку, критерий существенности, доверительный интервал корреляционного отношения, получать графические линии регрессии и их аналитические формулы, отражающие временной ход изменения характеристик растительных систем. Поэтому **изучая степень тесноты и характер связи между входом и выходом процессуальной растительной системы можно объективно, количественно и достоверно оценивать, как степень ее уязвимости в условиях меняющегося климата, так и временной ход изменения ее показателей.** При этом статистический анализ даст возможность избежать необоснованных и оши-

бочных выводов о характере связи и ее тесноте. На его основе тесноту связи между входом и выходом процессуальной системы представится возможным оценить с достаточной объективностью и точностью, поскольку их характеристики доступны для измерения, поддаются количественной оценке.

Игнорирование количественной оценки связи между входом и выходом исследуемых процессуальных растительных систем может привести к ошибкам при принятии необходимых решений, как в отношении понимания происходящих процессов, в оценках степени уязвимости растительных систем, так и в разработке рационального природопользования. И, что не менее плохо, – отсутствие оценки связи, позволяет некоторым противникам успешно оппонировать с учеными, обвинять их в необъективности, спекуляции на угрозе изменения климата, стремлении выбить для себя необоснованное финансирование.

Применяя корреляционный и регрессионный анализ, можно исследовать динамику характеристик различных показателей растений и формируемых ими растительных систем. Начиная с продуктивности, жизнеспособности, консортивных связей, биоценотических характеристик и заканчивая показателями биохимического, физиологического, генетического и прочих характеристик состояния растений и растительных систем. **Совокупность же этих результатов исследований и даст решение ныне чрезвычайно актуальных задач количественной оценки уязвимости и устойчивости растительных систем в целом.**

В развитие сказанного здесь необходимо остановится еще на некоторых важных методологических особенностях хронобиологического анализа. В их числе, прежде всего, следует отметить то, что **количественные исследования уязвимости и устойчивости процессуальных растительных систем, а также хронобиологический анализ временного хода изменения их характеристик могут проводиться на разных уровнях организации растительных систем**, как это показано на рис.9.

Некоторые характеристики растительных систем можно изучать и на уровне отдельных организмов. Это уместно при исследовании, например, напрямую зависящих от изменения климата фенологических и ряда других показателей растений. Особенно привлекательными в данном отношении будут растения с очень большой длительностью жизни. Ведь, как известно, у ряда видов она может превышать даже многие тысячелетия.

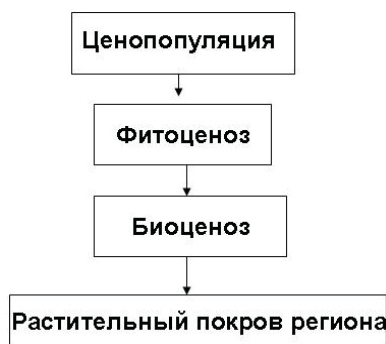


Рис.9. Уровни хронобиологического анализа

Исходный материал для хронобиологического анализа должен накапливаться по каждому из уровней исследуемых систем. В целом же с повышением уровня в иерархии исследуемых систем (рис.9) неизбежно возрастает и сложность системы. Очевидно, что такая крупная система, как растительный покров региона, обладает наибольшей сложностью. Но она, как из кирпичиков, состоит из совокупности взаимодействующих систем нижнего уровня (фитоценозов, биоценозов и т.п.). И в данной связи представляется весьма полезным учитывать результаты работанного В.И.Василевичем (1983) системного похода к классификации фитоценозов.

По мере возрастания уровня изучаемой растительной системы возрастает и стратегический уровень хронобиологических задач, которые могут решаться на основе системного анализа. Соответственно, к самому высокому стратегическому уровню можно отнести изучение уязвимости и временного хода изменения флоры региона и генофонда растений в новых климатических условиях. Сюда же относятся исследования изменения общей продуктивности растительного покрова, его влияния на изменения воздушного и гидрологического режима местности, защитно-охранной роли и т.п. Такие задачи системного анализа придется решать уже на уровне растительного покрова регионов (Проскуряков, 2011б).

Сбор исходных данных для анализа должен планироваться исходя из необходимости их накопления для двух вариантов обработки: 1) кратко-срочно-поэтапного и 2) длиннопериодного. Необходимость в этом определяется скоростью и величиной трансформации исследуемых характеристик растений, а также задачами анализа. Но нужно иметь в виду, что при хронобиологическом анализе растительных систем с точки зрения их

временной стабильности или изменчивости придется изучать соотношение широкого ряда признаков растительных ассоциаций с временной шкалой, которой является период лет за достаточно продолжительный промежуток времени. При этом изменения характеристик среды за ряд лет могут вызвать существенные изменения количественных признаков у большинства единиц растительных систем. А по отдельным признакам их связи с временной шкалой могут остаться на уровне случайной вариации. То есть растительная система в определенной ее части может остаться стабильной во времени, а по другим признакам будет уязвима изменениями среды, происшедшими за период наблюдений. Отсюда ограничения, которые придется учитывать при изучении связи количественных признаков с временной шкалой, могут оказаться настолько существенными, что возникнет необходимость увеличения сроков наблюдений. И только тогда изучаемые связи станут достаточно достоверными с точки зрения математической статистики.

Для повышения объективности и эффективного практического использования результатов хронобиологического анализа полученных на постоянных пробных площадях **необходимо создать сеть постоянных пробных площадей репрезентативную для ключевых объектов растительного покрова.** Вопрос о количестве постоянных пробных площадей по каждому ключевому объекту хронобиологического анализа также очень важен. Дело в том, что хронобиологический анализ должен быть обеспечен надежной фактической основой. Иначе и так немалые затраты на него могут оказаться бесполезными. В данной связи для решения вопроса о подборе пробных площадей нужно опираться не только на общепринятые в ботанике способы выбора одинаковых растительных систем. Помимо их применения **нужно учитывать и накопленный опыт планирования экспериментов,** которому посвящена огромная литература теории статистического анализа.

При высокой степени уязвимости изучаемых показателей, получаемые графические эмпирические линии регрессии их временного хода будут наглядно и адекватно иллюстрировать характер динамических закономерностей изменения растительных систем. В дальнейшем графические эмпирические линии регрессии могут подвергаться расширенному анализу в направлении подбора и совершенствования интерполяционной формулы уравнения регрессии. Для этого могут применяться преобразования исходных данных путем их логарифмирования, взятия обратных величин, при которых связь окажется линейной и т.д. Графический анализ поможет наглядно выявить и такие случаи, когда глав-

ное направление динамики сильно затушевывается колебаниями членов ряда. Однако в этих случаях нужно учитывать, что **накопленные материалы хронобиологических исследований пока репрезентативны только для сравнительно небольшого периода погодных изменений. И сейчас еще будет преждевременно судить о целостной картине трансформации растительных систем за длительный период изменения климата.**

По указанным выше причинам на данном этапе хронобиологических исследований представляется целесообразным идти по пути дальнейшего накопления и анализа фактических данных, чтобы иметь возможность глубже выяснить биологические тенденции, отражаемые графическими изображениями эмпирических линий регрессии. Это подтверждается и материалами уже выполненного хронобиологического анализа, которые будут рассмотрены в третьей главе книги. В пользу необходимости соблюдения «золотой» середины при анализе результатов наблюдений уместно процитировать слова широко известного автора работ по прикладной математической статистике – Дж.У.Снедекора. Он писал: «В нашем отношении к экспериментальным данным могут быть две крайности, которые следует избегать. Одна из них состоит в том, что уделяется слишком большое внимание мелким деталям выборочного варьирования и не используется возможность обобщения данных с последующими выводами относительно совокупности. Вторая крайность характеризуется пренебрежительным отношением к исходным данным и стремлением поскорее перейти к средним и к другим обобщенным показателям. Оба эти направления приводят к потере информации, содержащейся в экспериментальных данных» (Снедекор, 1961:139).

Методические требования к статистическому анализу материалов наблюдений общеизвестны. Они подробно изложены во многих специальных пособиях (Снедекор, 1961; Урбах, 1963; Вентцель, 1969; Митропольский, 1971; Доспехов, 1973; Лакин, 1990). Выполненные с учетом этих требований оценки корреляционных отношений, построенные графические зависимости и рассчитанные уравнения регрессии дадут возможность объективно и притом количественно судить о временном ходе и характере изменений растительного покрова. В целом же оказывается возможным оперативно, с широким использованием компьютерной техники и ее программ, обрабатывать огромные массивы хронобиологической информации и оценивать достоверность результатов.

Вместе с тем нужно иметь в виду, что при хронобиологическом анализе будут исследоваться самые разные показатели растительных си-

стем. И нет никакой гарантии, что типы распределения характеристик этих показателей всегда будут соответствовать законам нормального распределения, на котором базируются критерии статистической оценки достоверности. В таких случаях оценка значимости рассчитанных показателей по этим критериям (например, t-Стьюдента, F-Фишера) становится уже неправомерной (Доспехов, 1973; Лакин, 1990; Ипатов, 2010).

В данной связи при обработке материалов хронобиологических исследований представляется целесообразным применить фундаментальный общенаучный принцип апробации достоверности. В соответствии с этим принципом достоверными являются такие факты и закономерности, которые повторяются (воспроизводятся) на аналогичных объектах. Чтобы реализовать этот принцип, **по каждому ключевому объекту хронобиологического анализа надо закладывать ряд аналогичных пробных площадей. И на каждой из этих пробных площадей должны быть собраны данные о погодичной динамике характеристик изучаемых показателей растительных систем.**

Далее, нужно убедиться в том, что для любой пары пробных площадей ключевого объекта между исходными данными характеристик их показателей, сопряженными по годам хронобиологических наблюдений, существует статистически достоверная, **тесная линейная корреляция.** Для такой проверки необходимо рассчитать коэффициенты корреляции между сопряженными по годам наблюдений данными заложенных пробных площадей. И если между сравниваемыми парами пробных площадей коэффициенты корреляции характеристик показателей их растительных систем окажутся высокими и статистически достоверными, то это и будет свидетельствовать о повторяемости (воспроизводимости) установленных закономерностей. То есть нуль-гипотеза о повторяемости (воспроизводимости) установленных закономерностей уязвимости растительных систем не отвергается.

Для оценки значимости коэффициентов корреляции (r), полученных при попарном анализе пробных площадей, их нужно преобразовать в предложенную Р.Фишером величину зет (\hat{z}), которая распределена нормально. Проверка значимости полученных коэффициентов корреляции с применением преобразования по Р.Фишеру позволит статистически достоверно выяснить факты наличия или отсутствия повторяемости закономерностей выявленных при хронобиологическом анализе. Притом именно для тех случаев, когда распределения изучаемых характеристик

растительных систем отличаются от нормального. Таблица для перевода коэффициента корреляции в величину зет опубликована в пособиях по статистике (см. например, Урбах, 1963; Доспехов, 1973; Лакин, 1990). Она позволяет рассчитать стандартную ошибку \hat{z} и ее доверительные границы на 1% и 5% уровне значимости. А после определения доверительных границ \hat{z} обратным преобразованием – найти величины $r_{\text{макс}}$ и $r_{\text{мин}}$. Но в нашем случае в этом и нет необходимости. Проверить нулевую гипотезу ($H_0: r = 0$) о сходстве пробных площадей можно и без таких перерасчетов, а непосредственно по специальной таблице, например, опубликованной Б.А.Доспеховым (1973:313). В этой таблице (приложение 2) даны граничные величины коэффициентов корреляции на 5% и 1% уровнях значимости. Связь считается существенной и H_0 отвергается, если $r_{\text{факт}} \geq r_{\text{табл}}$. Нуль-гипотеза не отвергается, когда $r_{\text{факт}} < r_{\text{табл}}$.

По материалам таблицы приложения 2 легко заметить, что размер выборки (числа лет наблюдений) определяется величиной r . Поэтому **для доказательства сильных связей между анализируемыми характеристиками сравниваемых пар пробных площадей необходимы данные 8÷12 лет наблюдений**. Но, как уже отмечалось выше, с биологических позиций необходимая длительность наблюдений может корректироваться в еще большую сторону в зависимости от специфики поведения изучаемых признаков.

При условии линейности связи между пробными площадями ключевого объекта и обнаружения статистически доказанного сходства (повторяемости) выявленных закономерностей можно считать, что и результаты хронобиологического анализа будут достоверны. А полученные при этом графические линии регрессии и формулы тоже достоверно отражают существующие в природе закономерности временного хода изучаемых характеристик растительных систем. Основываясь на этом можно объединить данные по сходным пробным площадям изучаемого ключевого объекта для получения еще более надежных статистических оценок стабильности или уязвимости характеристик растительной системы и расчетов линий регрессии, отражающих временной ход изменения уязвляемых показателей растительных систем.

С другой стороны **результаты такой проверки позволят одновременно решить и другую очень важную задачу. Они дадут возможность убедиться в правильности подбора пробных площадей для хронобиологического анализа ключевого объекта**. Пробные площади, для которых анализ коэффициентов корреляции не подтвердил сходства закономерностей, должны быть отбракованы.

Особенности применения алгоритмов статистического анализа для хронобиологических исследований здесь можно проиллюстрировать на конкретном примере обработки материалов наблюдений за динамикой фенособытий. Целью таких исследований является получение сведений о степени уязвимости и временной динамике изменения фенособытий растительных систем. Ведь трансформация климата может вызвать очень существенные сдвиги сроков наступления фенофаз у растений. А потому ранее наработанные знания уже потребуют обязательной корректировки.

В соответствии с изложенным выше методологическим подходом при изучении динамики фенособытий наблюдаемые растения целесообразно рассматривать как хронобиологическую процессуальную систему, которая при изменении климата имеет определенную последовательность состояний во времени. Входом в эту систему является изучаемый период ее жизни, т.е. временной интервал лет, в течение которого она функционирует. А конкретными состояниями периода жизни будут охваченные исследованиями годы наблюдений. На выходе такой системы можно изучать любые фенологические характеристики растений. При этом важно, чтобы фенонаблюдения проводились на постоянном объекте, а накопленной базой данных обеспечивалось соблюдение принципа единственного различия – меняющегося климатического режима местности. Исследуя связь между входом такой системы (периодом жизни) и ее выходом (фенодатами) можно получить сведения о временной динамике изменений сроков наступления фенособытий, а также степени их уязвимости в период трансформации климата. Представится возможным использовать статистические методы количественной оценки тесноты связи, что очень важно для уверенности в полученных выводах. Опыт многолетних наблюдений показал, что связь между исследуемым периодом лет и фенологическими характеристиками носит, как правило, криволинейный характер (Проскуряков, 2009а,г; 2011а). Поэтому здесь необходимо рассчитывать корреляционное отношение.

Как известно, при изучении фенологии растений мы имеем дело с календарными датами. А потому их статистическая обработка в обычном виде затруднительна. Для этого календарные даты нужно переводить в ряд чисел по специальной таблице. Сделать такую таблицу несложно. Для регионов северных широт надо пересчитать даты в нарастающем итоге суммы цифр начиная с 1 марта. Тогда, например, 1 апреля будет 32-ым днем, 1 мая – 62-ым днем и т.д., как это показано

в приложении 1. Можно пользоваться и опубликованными таблицами (Зайцев, 1981).

ПРИМЕР. В качестве исходных данных для иллюстрации сказанного выше воспользуемся фактическими материалами 15-летних приемственных наблюдений за датой начала цветения кендыря ланцетолистного (*Aprosum lancifolium* Russan.) выполненных на участке тугайных растительных сообществ дельты р. Или в Южном Прибалхашье. Участок имеет координаты 45° 19. 974' с.ш., 75° 13.732' в.д., 355 м.н.у.м. Характеристика растений этого ключевого участка была подробно рассмотрена в ряде статей (Проскуряков, 2002а, б; 2003; 2005; 2006; 2007а, б). Поэтому здесь на ней останавливаться пока не будем. Отметим лишь, что кендырь ланцетолистный – основной раннелетний высокопродуктивный медонос данного региона.

Для расчета необходимых показателей материалы полевых наблюдений за период с 1994 по 2008гг. размещались в таблице 1. В ее первой графе (годы наблюдений) и четвертой (даты начала цветения) записывались исходные данные наблюдений. В графах «дата начала цветения» и «групповое среднее» цифрами вверху выписаны значения дат цветения, пересчитанные по приложению 1, а под ними в скобках указаны соответствующие им календарные даты.

В соответствии с рекомендациями статистических руководств, при изучении криволинейных корреляционных связей весь ряд наблюдаемых величин принято разбивать на 4-7 групп так, чтобы в каждой группе независимого признака X было не менее двух наблюдений. При этом интервалы групп могут быть различны. Но необходимо учитывать, что, если распределение вариантов по группам становится слишком грубым, то корреляционное отношение будет уменьшаться.

В рассматриваемом примере исходные данные в таблице 1 разбиты по годам наблюдений на 5 групп в возрастающем порядке лет так, чтобы в каждой группе было по три года. Затем вычислялась общая средняя арифметическая дата начала цветения (\bar{Y}) и групповые средние

даты начала цветения (\bar{Y}_x) соответствующие каждой зафиксированной группе лет. Определялись суммы квадратов отклонений для группового

$[\sum(Y - \bar{Y}_x)^2]$ и общего $[\sum(Y - \bar{Y})^2]$ варьирования даты начала цветения. Все расчеты делались только по пересчитанным по специальной таблице (приложение 1) датам. Итоговые данные подставлялись в формулы, с помощью которых определялась величина корреляционного отношения, его ошибка и критерий существенности.

Таблица 1

Расчет вспомогательных величин для вычисления
корреляционного отношения

Год наблю- дений X	Группо- вое сред- нее \bar{x}_y	Число наблю- дений n_x	Дата начала цветения Y	Группо- вое среднее \bar{y}_x	Откло- нение даты от груп- пового средн. $Y - \bar{y}_x$	Квадрат отклоне- ния $(Y - \bar{y}_x)^2$	Откло- нение даты от общей средней $Y - \bar{y}$	Квадрат отклоне- ния $(Y - \bar{y})^2$
1994			109 (17 июня)		0,67	0,45	11,8	139,24
1995	1995	3	112 (20 июня)	108,33 (16 июня)	3,67	13,47	14,8	219,04
1996			104 (12 июня)		-4,33	18,75	6,8	46,24
1997			86 (25 мая)		-12,33	152,03	-11,2	125,44
1998	1998	3	103 (11 июня)	98,33 (6 июня)	4,67	21,81	5,8	33,64
1999			106 (14 июня)		7,67	58,83	8,8	77,44
2000			106 (14 июня)		6,33	40,07	8,8	77,44
2001	2001	3	96 (4 июня)	99,67 (8 июня)	-3,67	13,47	-1,2	1,44
2002			97 (5 июня)		-2,67	7,13	-0,2	0,04
2003			103 (11 июня)		10	100	5,8	33,64
2004	2004	3	85 (24 мая)	93 (1 июня)	-8	64	-12,2	148,84
2005			91 (30 мая)		-2	4	-6,2	38,44
2006			87 (26 мая)		0,33	0,11	-10,2	104,04
2007	2007	3	84 (23 мая)	86,67 (26 мая)	-2,67	7,13	-13,2	174,24
2008			89 (28 мая)		2,33	5,43	-8,2	67,24
	$\bar{x} = 2001$	$n = 15$	$\sum Y = 1458$ $\bar{y} = 97,2$			$\sum (Y - \bar{y}_x)^2 =$ $= 506,68$		$\sum (Y - \bar{y})^2 =$ $= 1286,4$

$$\eta_{\kappa}^2 = \frac{\sum (Y - \bar{y})^2 - \sum (Y - \bar{y}_x)^2}{\sum (Y - \bar{y})^2} = \frac{1286,4 - 506,68}{1286,4} = 0,6061;$$

$$\eta_{yx} = \sqrt{\eta_{yx}^2} = \sqrt{0,6061} = 0,7785; \quad s_{\eta} = \sqrt{\frac{1 - \eta_{yx}^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,6061}{13}} = 0,1741;$$

$$t_{\eta \text{ факт}} = \frac{\eta_{yx}}{s_{\eta}} = \frac{0,7785}{0,1741} = 4,47; \quad \text{при } v = n - 2 = 15 - 2 = 13; \quad t_{05 \text{ табл}} = 2,16$$

$$t_{01 \text{ табл}} = 3,01; \quad \eta_{yx} \pm t_{05} s_{\eta} = 0,78 \pm 2,16 \times 0,17 = 0,78 \pm 0,37;$$

H_0 отвергается ($t_{\text{факт}} > t_{01 \text{ табл}}$)

В таблице 1 приняты следующие обозначения:

- \bar{y} – общая средняя арифметическая даты начала цветения;
- \bar{y}_x – частные средние величины даты начала цветения для каждой из зафиксированных групп лет наблюдений;
- η_{yx} – корреляционное отношение Y(даты начала цветения) по X (годы наблюдений);
- s_{η} – ошибка корреляционного отношения;
- \sum – сумма, знак суммирования;
- n – объем выборки;
- v – число степеней свободы;
- $t_{\eta \text{ факт}}$ – фактическое значение критерия t-Стюдента;
- $t_{05 \text{ табл}}$ и $t_{01 \text{ табл}}$ табличные значения критерия t-Стюдента для 1% и 5% уровня значимости.

Как видим, **дата начала цветения кендыря весьма существенно коррелирует с изучаемым периодом жизни растений**. Теснота этой связи составляет более 77% ($\eta_{yx} = 0,7785$) от полной неразрывной. Нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается на 1%-ом уровне значимости, т.к. $t_{\text{факт}} > t_{01 \text{ табл}}$. Поэтому выполненные расчеты с вероятностью 99% подтверждают **наличие статистически значимой, близкой к функциональной связи и высокой степени уязвимости фенологического показателя в данный период изменения климата**.

Для решения задачи анализа закономерностей временного хода изменения даты начала цветения целесообразно воспользоваться графическим изображением линии регрессии, которая отразит усредненное течение функции (фенодаты) при равномерном увеличении аргумента (лет наблюдений). Без дополнительных вычислений линию регрессии с достаточным приближением можно построить графическим способом. С целью такого построения линии регрессии точки с координатами значений групповых средних \bar{x}_y и \bar{y}_x в календарных датах (смотрите в

таблице №1: 1995г и 16 июня; 1998г и 6 июня; 2001г и 8 июня; 2004г и 1 июня; 2007г и 26 мая) были нанесены на график и соединены плавной линией (см. на рис.10, – сплошную линию с маркерами отмечающими координаты групповых средних).

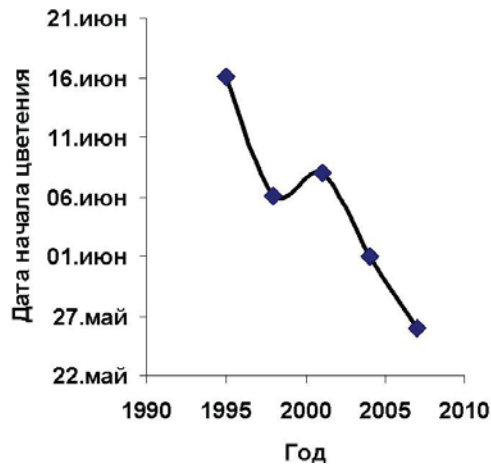


Рис10. Динамика даты начала цветения кендыря.
Пояснения в тексте.

Полученная кривая линия регрессии (рис.10) показывает, что за наблюдаемый период имело место очень существенное изменение даты начала цветения кендыря. При этом процесс трансформации начала цветения шел неравномерно. С 1995 по 1998 год дата начала цветения кендыря стала на 10 дней раньше. Затем этот процесс замедлился, и дата начала цветения даже сдвинулась на более поздний срок. Но потом процесс смещения даты начала цветения опять ускорился в направлении более ранних сроков. А в целом за наблюдаемый период эта дата стала раньше на 20 дней. Очевидно, что выявленная тенденция в смещении даты цветения будет продолжена, если сохранится режим изменения климата.

Материалы нашего примера вызывают соблазн произвести операцию выравнивания с целью получения линейной регрессии даты начала цветения кендыря. Однако, как показывает опыт хронобиологического анализа, здесь лучше не спешить и проявить осторожность. Ведь, как известно, статистический анализ не заменяет логики мышления, специальных знаний, а его механическое применение может привести к ошибочным выводам. И в данной связи, забегая несколько вперед, необходимо отметить следующее. Как будет показано в третьей главе,

выявившийся при анализе даты начала цветения кендыря факт смещения кривой линии регрессии (сравните рис.9 и материалы главы 3) в те же годы повторяется и в динамике даты начала цветения многих других видов растений. Притом в очень широком диапазоне среды их обитания. Отсюда становится ясно, что причина такого отклонения не случайна. Она явно связана с адаптационной реакцией растений в рассматриваемый период изменения климата. Следовательно, **опираясь лишь на возможные статистические доказательства линейности связи можно упустить из виду очень важные закономерности временного хода фенособытия.**

Сходные особенности хронобиологического анализа могут выявить не только при исследовании фенособытий. Они могут иметь место и при анализе любых других показателей растительных систем. А потому, несмотря даже на вероятные статистические заключения о линейности связей, пока еще правильнее будет проявить осторожность и пользоваться полученными графическими изображениями криволинейных зависимостей регрессии или отражающими их аналитическими формулами. Это позволит избежать возможной утраты очень важных сведений о биологических процессах в растительных системах.

Как уже было отмечено выше, **для определения скорости и величины изменения показателей при хронобиологическом анализе растительных систем** можно воспользоваться общепринятыми алгоритмами определения скорости и величины изменения характеристик динамических рядов. Они даны во многих публикациях по статистическому анализу (Лакин, 1990; Едронова, Малафеева 2007; Шмойлова, Минашкин, Садровникова, 2009; Соболев, Борисова, Иваночкина, Пешхоев, 2010), где авторы исходят из того, что каждый ряд динамики характеризуется двумя параметрами: уровнями ряда и показателем времени. И в соответствии с таким подходом рассматриваемые в данной книге хронологические ряды растительных систем являются **интервальными рядами динамики с равноотстоящими уровнями.** В них каждый уровень ряда характеризует состояние показателя растений (или формируемых ими растительных систем) за отрезок времени равный одному году. С этих позиций анализируемые в книге интервальные ряды динамики отражают последовательность, в которой уровень изучаемого показателя растительной системы меняется **за интервал времени равный одному году.** А в целом последовательность упорядоченных во времени уровней каждого динамического ряда характеризует изменение изучаемого показателя за изученный ряд лет. При этом **ряды динамики содержат**

абсолютные величины изучаемых показателей. Таковыми, например, являются ряды динамики даты наступления фенособытий, ряды динамики годичного прироста растений, ряды динамики продуктивности нектаровыделения, массы продуцируемых семян и т.п.

Однако в сфере применения ранее уже разработанных рекомендаций по анализу скорости изменений рядов динамики входило, главным образом, изучение социально – экономических явлений. Особенности же применения этих рекомендаций для хронобиологического анализа растительных систем здесь можно проиллюстрировать на уже рассмотренном выше примере даты начала цветения кендыря ланцетолистного за 1994-2008 гг. Необходимые для этого исходные данные представлены в таблице 2, где для статистической обработки календарные даты пересчитаны согласно приложению 1 (см. столбец 3 таблицы 2).

Таблица 2

Динамика даты начала цветения кендыря ланцетолистного за 1994-2008 гг. и расчет аналитических показателей динамики

Показатель времени (год наблюдений) X	Характеристики уровней ряда		Абсолютные цепные смещения даты начала цветения (по сравнению с предыдущим годом) Δ^n
	Календарная дата начала цветения кендыря	День начала цветения кендыря в пересчете по таблице Приложения 1 У	
1	2	3	4
1994	17 июня	109	
1995	20 июня	112	+3
1996	12 июня	104	- 8
1997	25 мая	86	-18
1998	11 июня	103	+17
1999	14 июня	106	+ 3
2000	14 июня	106	0
2001	4 июня	96	- 10
2002	5 июня	97	+ 1
2003	11 июня	103	+ 6
2004	24 мая	85	-18
2005	30 мая	91	+ 6
2006	26 мая	87	- 4
2007	23 мая	84	- 3
2008	28 мая	89	+ 5
			$\Sigma = - 20$

В соответствии с опубликованными рекомендациями для определения **скорости изменения каждого уровня ряда** динамики необходимо вычислить **абсолютные величины их изменения** (Δ^n). Эти величины вычисляются как разность двух сравниваемых смежных уровней по формуле $\Delta^n = y_i - y_{i-1}$, где y_i – уровень i - того года. Тогда **средняя скорость изменения** даты фенособытия для **всего рассматриваемого динамического ряда** будет равна **среднему абсолютному изменению** даты фенособытия. Оно рассчитывается по формуле:

$$\overline{\Delta y} = \frac{\Delta y_1'' + \Delta y_2'' + \dots + \Delta y_{n-1}''}{n-1} = (-20) : 14 = -1,43, \text{ где } \Delta y_1'', \Delta y_2'', \dots, \Delta y_{n-1}'' -$$

цепные абсолютные смещения; n – число уровней ряда.

Выполненные по таблице 2 расчеты показывают, что для анализируемого здесь ряда динамики **имеет место закономерное смещение даты цветения кендыря в раннюю сторону**. При этом **средняя скорость смещения даты начала цветения кендыря равна 1,43 дня в год**. А величина **общего абсолютного смещения** даты начала цветения кендыря за весь период наблюдений 1994-2008 гг. равна 20 дням.

Результаты оценки скорости изменения фенособытий в период трансформации климата, а также материалы такого анализа выполненного в третьей главе книги, позволяют сделать еще одно важное дополнение в методологическую основу хронобиологических исследований. **Необходимо, чтобы частота хронобиологических наблюдений позволяла чутко улавливать изменения числовых характеристик показателей растительных систем**. Так, при анализе фенособытий нужно вести наблюдения за растениями не только ежегодно, но и с точностью до одного дня. Это обусловлено тем, что смещение даты наступления фенособытий идет со средней скоростью 1-2 дня в год. Если этого не учитывать, то обнаружить такое смещение с достаточной точностью не удастся. А вот для хронобиологических исследований других показателей (например, изменения генофонда ценозообразующих видов) будут иметь место совсем иные скоростные режимы и периодичность измерения их числовых характеристик.

В целом рассмотренный пример анализа иллюстрирует возможности получать числовые оценки связи даты фенособытий с изученным периодом изменения климата; выяснять количественные особенности временного хода их смещения; определять направление, скорость и величину изменений даты фенособытий. В совокупности эти количественные оценки характеризуют степень и особенности

уязвимости фенособытий за период выполненных хронобиологических наблюдений. И такое решение задачи исследования фенособытий может быть получено для всех видов растений, как природных растительных систем, так и агрофитоценозов. **Пользуясь им можно статистически достоверно исследовать любые фенологические события в жизни растений.** Например, дату начала бутонизации, начала и окончания цветения; дату начала сокодвижения у растений, начала и конца вегетации, начала и конца фазы активного роста растений; даты начала и конца созревания семян; даты начала весеннего зеленения листьев и их осеннего пожелтения. По той же схеме алгоритма методики **можно исследовать и даты проведения агромероприятий, а также даты проведения хозяйственных мероприятий по использованию продуктов растениеводства.** Например, даты начала и конца периода медосбора, пыльцесбора, заготовки прополиса, живицы, березового сока, плодов, семян, даты жатвы, сенокосов, заготовки лекарственного и технического сырья растений, даты посева семян, посадки саженцев, начала и конца мероприятий по уходу за растениями, даты мероприятий по защите растений от вредителей и болезней и т.д. При этом **решение всех этих задач не потребует дорогостоящих метеорологических наблюдений.**

С помощью рассмотренного алгоритма методики можно выполнять количественные исследования и любых других показателей жизнеспособности растений и формируемых ими растительных систем. В том числе – продуктивности биомассы, консортивных связей, биохимических характеристик сырья, содержания лекарственных веществ, технических свойств растительной продукции и многое другое. При этом для каждого изучаемого биологического показателя растительной системы удастся **статистически достоверно и притом количественно определить степень его уязвимости. Представится возможность получать графические линии регрессии и их аналитические формулы, отражающие временной ход изменения показателей.** Выяснятся количественные особенности этого временного хода: направление, скорость и величина изменений исследуемых показателей растительных систем за любой период, когда меняется климат. А на полученной таким способом основе дифференцированного анализа показателей можно делать выводы об уязвимости и устойчивости растительной системы в целом. И выполнить все это удастся, **как в период глобального потепления, так и похолодания.**

Рассмотренные выше методологические особенности хронобиологического анализа растительных систем определяются в основном задача-

ми исследований ключевых объектов растительного покрова. Но есть и другая не менее важная **методологическая сторона проблемы – интерполяция результатов хронобиологического анализа в пределах ординированной сети ключевых объектов исследований.**

В годы существования СССР необходимая **научно-методологическая основа системного подхода к интерполяционному прогнозированию поведения растений при их интродукции в условиях нового климатического режима** разрабатывалась на базе **сети ботанических садов республики Казахстан**. Исследования были начаты с 1983г. Их выполнению способствовало **специальное постановление Президиума Академии наук Казахской ССР**, которое было инициировано сделанным мною докладом. В принятом постановлении Президиума Академии наук Казахской ССР было записано: «Считать необходимым развитие работы ботанических садов АН Казахской ССР на качественно новом уровне – как системы, позволяющей интерполировать и прогнозировать результаты интродукции на все основные почвенно-климатические регионы республики» (см. Постановление Президиума Академии наук Казахской ССР от 26 мая 1983г за №92). В работу включились коллективы шести имеющихся в то время ботанических садов Казахстана (Главного ботанического сада в г.Алматы, Лениногорского, Джезказганского, Карагандинского, Илийского и Мангышлакского) совокупностью которых был представлен крупный экологический полигон, репрезентативно охватывающий основное разнообразие природы равнинной территории республики. На базе этих ботанических садов с целью выяснения реакции растений на разнообразие среды их обитания в Казахстане были созданы географические посадки однородного в генетическом отношении материала широкого ассортимента древесных растений. Одновременно разрабатывалась и теоретическая основа данного нового направления.

Первые результаты теоретических исследований опубликованы в статье «Интерполяционный подход к решению задач прогноза в интродукции растений» (Проскурjakов,1985). В этой статье была обоснована высокая надежность интерполяционных оценок поведения растений в пределах ординированной сети ключевых стационарных исследовательских центров. Показаны возможности объективной интерполяции данных о поведении растений внутри крупных территорий, репрезентативно охваченных исследовательскими центрами. Обоснована высокая экономическая эффективность такого подхода к решению задач прогнозирования, позволяющего широкое применение компьютерной

обработки данных и их сбор не только путем наземных исследований, но и с привлечением искусственных спутников Земли. Была доказана необходимость системной организации базовых исследовательских центров, для того, чтобы достичь эффекта интерполяции их результатов и наибольшей экономии затрат труда и средств. Предусматривалась целесообразность жесткой ординации размещения ключевых объектов исследований с учетом экологического и флористического разнообразия регионов, а также обслуживающих эти объекты научно-исследовательских центров, их научного профиля и задач работы. Обосновывалась необходимость применения унифицированных методик сбора данных, их обработки и интерполяции результатов исследований, разработки программ ЭВМ, обеспечивающих нужные расчеты, создание и хранение базы данных. Особое внимание уделялось преемственности в исследовательской работе, хранении материалов и в подготовке специалистов.

Поскольку **изначально практическая реализация и апробация решения проблемы интерполяционного прогнозирования планировались на базе центров интродукции Казахстана**, то для сбора, обобщения данных и системной организации исследований поведения растений было подготовлено и **опубликовано специально унифицированное научно-методическое пособие** – «Методики интродукционных исследований в Казахстане» (отв. ред. Проскуряков, 1987).

Помимо методов исследования для осуществления системной работы сети исследовательских центров интерполяционного прогнозирования, повышения их научного потенциала, была **разработана основа комплексной координации исследований**. В том числе между государствами. Для этого были опубликованы разработанные алгоритмы паспортизации всех данных по каждому ключевому исследовательскому центру (Проскуряков, 1987). И обоснована концепция кооперирования исследований репрезентативно размещенных ботанических садов стран региона Средней Азии: Казахстана, Киргизии, Узбекистана, Таджикистана, Туркменистана (Проскуряков, 1989).

Упомянутые выше теоретические и методологические результаты выполненной разработки интерполяционного подхода к прогнозированию поведения растений в новых климатических условиях были адаптированы для их применения на конкретных растительных объектах в Казахстане (Проскуряков, Рубаник, 1986; Проскуряков, Кабанов, Чекалин, 1987; Проскуряков, 1991). А в дальнейшем они были включены в книгу «Системно-экологический подход к интродукции растений в Казахстане» (Байтулин, Проскуряков, Чекалин, 1992). В ней эти научно – методи-

ческие результаты исследований (Проскуряков, 1985, 1987, 1989, 1991) составили основу 1,2,3-ей и 7-ой глав.

На данной основе в 1-ой главе цитируемой книги проанализированы прикладные и научно-методические аспекты, детерминирующие необходимость развития интерполяционного подхода к прогнозированию поведения растений в новых климатических условиях. Во второй главе рассмотрены принципы экологической ординации сети исследовательских центров, на которой должен выполняться интерполяционный прогноз. В третьей главе обсуждается теоретическая и экспериментальная база для применения методов интерполяционного прогнозирования. В 7-ой главе дана концептуальная и методологическая основа системного подхода к решению задач интерполяционного прогнозирования. Показаны принципиальные отличия предлагаемого интерполяционного прогноза результатов переноса растений в новые климатические условия. Определены преимущества интерполяционного прогнозирования, как наиболее точного способа, позволяющего добиться существенного улучшения результативности прогнозирования.

Излагаемые выше результаты исследований были получены, когда новый климатический режим еще не начал кардинально корректировать поведение растительных систем. Но, как уже было показано, процесс глобального изменения климата развивается все более интенсивно. И никто не знает, что нас ожидает в дальнейшем – потепление или похолодание. В каких регионах, и с какой скоростью это будет происходить. На какую величину изменятся состояния климатообразующих факторов. Как все это скажется на растениях. В данной связи приходится констатировать, что *разработанную научно-методическую основу интерполяционного прогноза поведения растений целесообразно применить и в работе системно – организованной сети ключевых стационаров хронобиологического анализа в период изменения климата*. Здесь это найдет применение *для интерполяции результатов исследований уязвимости как природных растительных систем, так и агрофитоценозов*.

В свете уже накопленного опыта интерполяционный прогноз при хронобиологическом анализе уязвимости растительных систем крупных территорий должен обязательно базироваться на системной организации работы сети центров хронобиологического анализа, применении ими единой методики сбора и обработки результатов хронобиологических наблюдений и выполнении комплексного анализа уязвимости растительных систем регионов.

Заключение

Таким образом, для решения проблемы количественного хронобиологического анализа уязвимости растительных систем в режиме времени изменения климата каждую растительную систему целесообразно рассматривать как процессуальную систему. Входом в эту процессуальную систему является период ее жизни, а выходом – результаты работы системы (количественные характеристики ее показателей). Исследуя связь между входом в такую процессуальную систему (периодом ее жизни) и ее выходом (результатами работы системы), можно выполнить статистически достоверный количественный хронобиологический анализ динамики характеристик всех важнейших биологических показателей. Притом за каждый конкретный период лет, когда меняется климатический режим местности. И для того, чтобы получать точные числовые оценки результатов работы растительной системы, нам не обязательно знать, как она устроена и как работают ее составные части. Вместе с тем, предлагаемый системный подход к решению проблемы ни в коей мере не исключает и возможность применения методов разработанных для исследования динамических рядов. Наоборот, – именно применение системного подхода в сочетании с методами исследования динамических рядов позволит значительно расширить возможности хронобиологического анализа.

Такой методологический подход существенно облегчает решение проблемы количественного анализа и оценки степени уязвимости растительных систем в период изменения климата. С максимальной экономией труда и средств дает возможность получать достоверные сведения о временном ходе и величине трансформации растительных систем. Становится осуществимым также и интерполяционный прогноз развития процесса трансформации растительных систем для экологических ситуаций в пределах ординированной сети изученных ключевых объектов. Для этого ключевые объекты хронобиологического анализа должны быть подобраны таким образом, чтобы на их основе можно было выполнять интерполяционный прогноз результатов хронобиологического анализа на экологические ситуации промежуточные между теми, где расположены ключевые объекты. В данной связи ключевые объекты должны быть предварительно ординированы с учетом географической изменчивости характеристик растительного покрова имевшей место перед началом и в процессе глобальной трансформации климата.

В целом же рассмотренная выше методологическая основа хронобиологического анализа растительных систем позволяет значительно расширить диапазон их количественных исследований. С ее помощью для изучаемых биологических показателей растительных систем удастся выполнить следующее.

1. Предлагаемая методологическая основа хронобиологического анализа растений при изменении климата позволяет исследовать крупные массивы фактических материалов наблюдений за любые периоды трансформации климата. И, что особенно важно, – выполнять именно количественный статистически достоверный анализ характеристик растительных систем. Дает возможность для применения всего ранееработанного арсенала теоретической базы, методов и алгоритмов корреляционного, регрессионного анализа, методов анализа рядов динамики, а также методов статистической обработки данных с помощью программ ЭВМ. Пользуясь этой методологической основой, удастся выполнить хронобиологические исследования любых показателей жизнеспособности растений и формируемых ими растительных систем. При этом нужные результаты могут быть получены и без дорогостоящих метеонаблюдений.

2. Используемый в разработанной методологической основе системный подход к решению задач хронобиологического анализа позволяет количественно измерить степень уязвимости любой растительной системы во время изменения климата. Это можно выполнить путем числовой оценки тесноты связи характеристик ее показателей с изучаемым периодом жизни, числовой оценки величин смещения характеристик в динамике формирования растительных систем, числовой оценки скорости их изменения и исследования направления происходящих изменений. При этом удастся учитывать результаты влияния на растительные системы всей совокупности факторов действующих в период меняющегося климата. Представится возможным количественно оценивать степень уязвимости, биологическую устойчивость и ресурсную перспективность природных растительных систем и агрофитоценозов в любом конкретном периоде их жизни, как при глобальном потеплении, так и похолодании. Можно будет выявлять основные типы адаптационной стратегии растительных систем дифференцирующихся в режиме времени изменения климатических условий. Отслеживать временной ход развития процесса изменения растительных систем. Получать графические линии регрессии и их аналитические формулы, отражающие временной ход изменения характеристик показателей. Выяснять направление, ско-

рость и величину изменений исследуемых характеристик растительных систем за период изменения климата.

3. Применение разработанной методологической основы в сочетании с интерполяцией результатов хронобиологического анализа в пределах ординированной сети ключевых объектов позволит многократно повысить эффективность исследований и уменьшить связанные с ними затраты. Интерполяционный прогноз уязвимости растительных систем крупных территорий, в свою очередь, будет базироваться на системной организации работы сети центров хронобиологического анализа, применении ими единой методики сбора и обработки результатов хронобиологических наблюдений и выполнении комплексного количественного анализа уязвимости растительных систем. Себестоимость интерполяционного прогнозирования результатов хронобиологического анализа будет невысока, так как он может выполняться в камеральных условиях. И при этом реализуется возможность быстро разрабатывать рекомендации для крупных территорий, как для природных растительных систем, так и агрофитоценозов, что очень важно в регионах, где интенсивно развиваются процессы изменения климата.

Предложенная методологическая основа позволит выполнить хронобиологический анализ сдвигов характеристик по времени изменения климата. Поможет определить реактивность системообразующих компонентов растительных ассоциаций, индикаторных представителей растительной системы и сделать объективные заключения об их устойчивости. А уже на этой дифференцированной основе удастся оценивать стабильность или уязвимость анализируемых растительных систем в целом. И выполнить все это можно будет, как во время глобального потепления, так и похолодания. В динамике развития трансформации растительного покрова за любой период изменения климата и на сколь угодно большом объеме накопленного статистического материала. Для любого пункта и растительного объекта территории Земли.

Вся полученная в результате системно выполняемого хронобиологического анализа информация необходима для понимания происходящего сейчас изменения растительного покрова. Она позволит лучше подготовиться к последствиям трансформации растительных систем. С ее помощью удастся выяснить направление изменений устойчивости и уязвимости показателей растительных систем, получить основу для всестороннего и углубленного знания реактивности растительных систем на изменение климата и принятия действенных мер по предотвращению их разрушения. Это даст возможность разрабатывать стратегию управ-

ления растительным покровом и рационального природопользования, которая поможет ослабить вредные последствия изменений климата. Притом решать такую задачу удастся для любого пункта, где имеются преемственные, многолетние достоверные результаты наблюдений. И сделать это можно будет даже тогда, когда видимых признаков (сокращения ареалов, исчезновения видов растений, разрушения растительных систем и т.п.) еще не происходит.

Исходный фактический материал для применения предложенной здесь методологической основы системного хронобиологического анализа уже имеется в огромном количестве и продолжает пополняться. Например, – в летописях природы заповедников, ботанических садах, пчеловодческих фенологических наблюдениях, институтах ботаники, лесных опытных станциях, растениеводческих питомниках, агростационарах.

ГЛАВА 3. ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как мы уже могли убедиться, климат земли быстро меняется. Соответственно будет дифференцироваться и ее растительный покров. Тем самым диктуются и новые цели научных исследований. Необходимо **выяснить временной ход происходящих изменений растительного покрова и степень его уязвимости. Без этого невозможно своевременно разработать меры по сохранению его биологической устойчивости и рациональному природопользованию.**

Но решение этих задач путем изучения роли прямодействующих факторов нового климата связано с непреодолимыми трудностями, так как **экологический режим местообитаний растений формируется совокупностью многих изменяющихся во времени факторов.** Притом для жизнедеятельности растений важны не только состояния каждого из них в отдельности. Еще более существенен результат их комплексного воздействия на растения. **А учесть роль всего природного многообразия их комбинаций между собой, да еще и в динамике и притом для любого конкретного местообитания растений, пока не представляется возможным.**

Однако, как было показано во второй главе, проблема исследования поведения растений в новых климатических условиях все же может быть решена путем хронобиологического анализа жизнеспособности растений. Такие **хронобиологические исследования позволяют выявить дифференциацию биологических признаков, процессов и состояний у растений в любой период изменения климата и для любой растительной системы, где бы она ни находилась.**

Главными задачами данной главы и ставилось рассмотреть накопленный опыт применения разработанной методологической основы хронобиологических исследований. Показать ее возможности для количественного анализа степени уязвимости растительных объектов и временного хода происходящих изменений их состояния в период глобальной трансформации климата. Все эти вопросы применения разработанной методологической основы будут проиллюстрированы здесь на модельных объектах, которые исследовались в пределах крупного и экологически весьма разнообразного полигона, простирающегося от Северного Тянь-Шаня до Южного Прибалхашья (Проскуряков, 2002а,б; 2003; 2005; 2007б; 2008а,б.; 2009а,б).

3.1. Объекты и объем выполненных исследований

Первый ключевой участок хронобиологических наблюдений размещался в Южном Прибалхашье в районе современной дельты реки Или, где представлена в основном растительность тугайного типа (рис.11,12). Местность пересекается множеством протоков, занятых вдоль берега тугайной растительностью, зарослями черного саксаула и полынно-солянковыми ассоциациями на солончаках, которые формируются на примитивных аллювиально – луговых почвах. Вдоль протоков рек Или, Жидели, Топар, Коктал, Кетпенкалды и др. широко распространены сообщества с участием лоха остроплодного: лохово – ивово – разнотравно – злаковые, злаково – разнотравно – ивово – лоховые, злаково – лоховые и лоховые (рис.12). Здесь же располагаются заросли чингиля: чингилово – волоснецово – полынные, чингилово – солянково – разнотравно – злаковые. Фундаментальные сведения о растительном покрове данно-

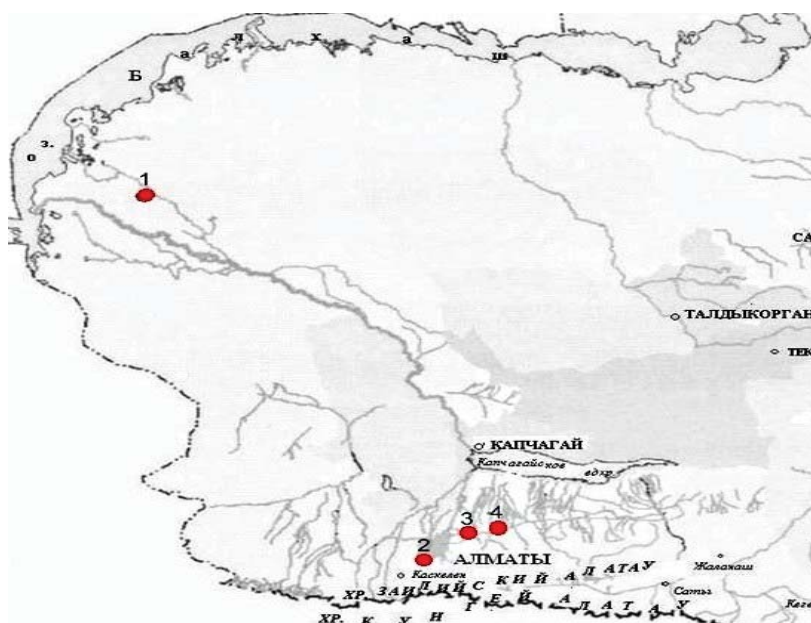


Рис.11.Размещение ключевых участков хронобиологических исследований в пределах экологического профиля от Северного Тянь-Шаня до Южного Прибалхашья

Координаты ключевых участков: 1 – N 45° 19. 974' ; E 75° 13.732' ; высота – 355 метров н.у.м. ; 2 – N 43° 13.077' ; E 76° 55.003' ; высота – 881 м. н.у.м.; 3 – N 43° 18. 170' ; E 77° 03.909' ; высота – 763 метров н.у.м.; 4 – N 43° 19. 140' ; E 77° 15.293' ; высота – 920 метров н.у.м. Местоположение пунктов наблюдений определялись навигатором eTrex GARMIN в системе координат WGS 84.



Рис. 12. Тугайный ландшафт современной дельты р. Или, расположенной в Южном Прибалхашье.

го региона содержатся в работах Л.Я. Курочкиной (1978) и Р.П. Плисак (1981), поэтому здесь мы на них останавливаться не будем.

Второй, третий и четвертый ключевые участки располагаются у подножия хребта Заилийский Алатау в предгорной зоне Северного Тянь-Шаня (рис.11,13). Здесь господствуют полынно- злаковые и злаково-разнотравные степи северного типа с горными среднегумусовыми и малогумусовыми черноземами. А в средней части «прилавков» ближе к северным склонам гор размещаются островки садов и лиственных лесов из яблони Сиверса и абрикоса обыкновенного. Средняя мощность гумусового горизонта колеблется от 55см до 70см. Почвы суглинистые. Детальная характеристика условий обитания растений в предгорьях Заилийского Алатау дана в работах ряда исследователей (Чупахин,1970; Джангалиев,1973,1974; Тазабеков,1977). Второй опытный участок, где выращивались интродуцированные растения, находится на территории Главного ботанического сада Института ботаники и фитоинтродукции (г.Алматы). Для объектов хронобиологического анализа здесь соблюдалось постоянство участка и агротехники культивирования растений.

Поскольку естественный растительный покров до начала глобального потепления длительное время формировался в динамическом равновесии с климатом местности, то и его состав, биологическая

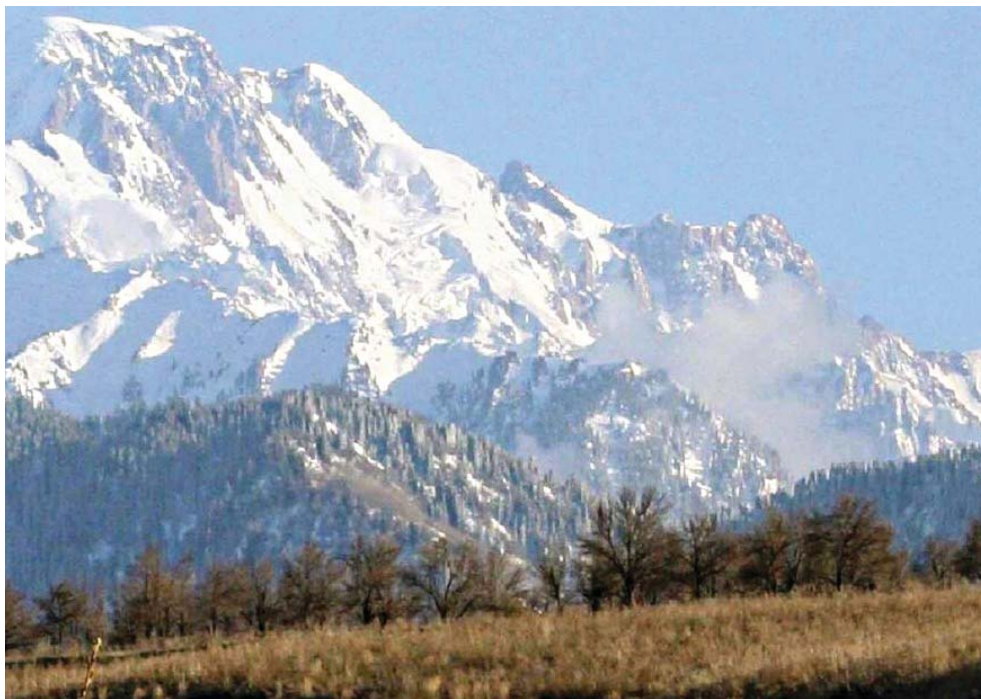


Рис.13. Центральнo-Заилийский горный район Северного Тянь-Шаня. На переднем плане – равнинно- предгорная степная зона (800- 900 м н.у.м.). На заднем – темнохвойные леса ели Шренка и пик Талгар (5017 м н.у.м.)

продуктивность, а также все сопутствующие этому характеристики детерминировались именно прежними климатическими условиями. Наглядное представление о разнообразии ранее господствовавшего климатического режима в пределах рассматриваемого нами экологического полигона можно получить с помощью климадиаграмм (рис. 14). Они позволяют наиболее отчетливо проследить сезонные изменения климатических условий и потому весьма успешно применялись в исследованиях растительности обширных территорий (Вальтер, 1968).

Исходные материалы для построенных климадиаграмм района исследований были заимствованы из опубликованного Агроклиматического справочника по Алма-Атинской области (1962). В нем приведены данные за период до начала глобального потепления климата, когда именно и был сформирован нынешний облик растительного покрова региона.

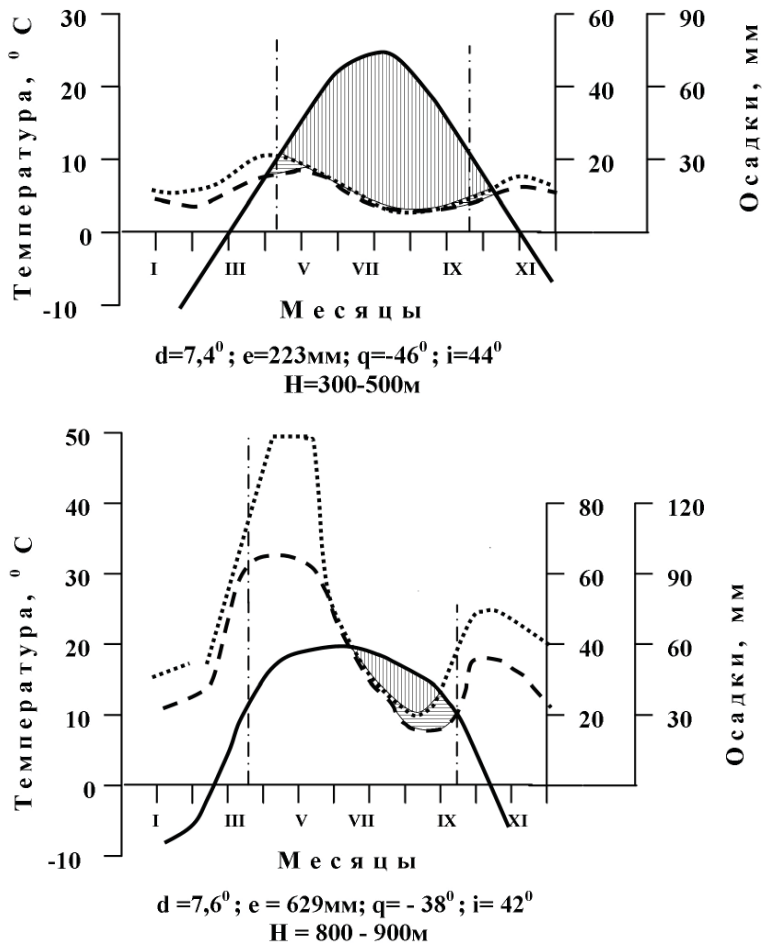


Рис. 14 Климатодиаграммы района хронобиологических исследований. Вверху – для дельты р.Или в Южном Прибалхашье. Внизу– для предгорной равнины хребта Заилийского Алатау (Северный Тянь-Шань).

Обозначения: — — — — — средние месячные температуры воздуха; - - - - - месячные суммы осадков в масштабе на $10^0\text{C} - 30$ мм осадков; — месячные суммы осадков в масштабе на $10^0\text{C} - 20$ мм осадков; — · — · — · — границы перехода температуры воздуха через 10^0C ; Н – высота над уровнем моря, м; d – среднегодовая температура воздуха, ^0C ; e – годовая сумма осадков, мм; q – абсолютный минимум температуры воздуха, ^0C ; i – абсолютный максимум температуры воздуха, ^0C ; площадь с вертикальной штриховкой – засушливый период; площадь с горизонтальной штриховкой – полусушливый период;

С учетом большого опыта исследований Г.Вальтера для составления климатодиаграмм использовалось соотношение между средней месячной температурой и количеством осадков, как 1:2, когда 10^0C соответствуют 20мм осадков. При соблюдении такого масштаба **засушливая часть года отражается кривой осадков, расположенной ниже температурной кривой.**

Как показал Г.Вальтер (1968), температурная кривая такой климадиаграммы может характеризовать годовой ход испарения, т.к. она отражает расход влаги. А кривая осадков отражает ее приход. В результате климадиаграмма дает представление о характере водного баланса территории, длительности засушливого периода, его календарной приуроченности, характере распределения осадков и длительности периода вегетации.

Для того, чтобы различать засушливый и полусухой периоды в диаграмме применяется дополнительное изображение осадков в соотношении между температурной и осадками 1:3. При этом масштаб для температурной кривой остается прежним. В таком случае получается, что одно деление в 10°C равно 30мм осадков. Тогда эта новая кривая осадков располагается ниже, чем кривая осадков при соотношении 1:2. **А продолжительность (по горизонтали) и интенсивность (по вертикали) полусухого периода отражается площадью, заключенной между этой кривой осадков и расположенной над ней температурной кривой.** Вместе с тем на диаграммах даются сведения о целом ряде других показателей: высоте над уровнем моря, среднегодовой температуре воздуха, годовой сумме осадков, абсолютном минимуме и абсолютном максимуме температуры воздуха.

Как видим, климадиаграмма Южного Прибайкалья (рис.14) существенно отличается тем, что здесь засушлив весь период вегетации растений. Максимум осадков смещен к весенним месяцам, а количество выпадающих осадков почти в три раза меньше, чем в предгорьях Северного Тянь-Шаня. Длительность периода вегетации наибольшая (до 222 дня).

Материалы климадиаграммы предгорий Северного Тянь-Шаня позволяют констатировать, что весной и в начале лета (апреле-июне) засушливость климата здесь не проявляется из-за довольно значительных количеств выпадающих осадков. В этом отношении климат местности формируется по типу средиземноморского. Засушливостью же характеризуется только летне-осенняя часть периода вегетации. Полусухой период продолжается до середины октября. Причем поздней осенью наблюдается вновь существенное увеличение осадков, обеспечивающее предзимний влагозапас почвы. Длительность периода вегетации высокая (до 198 дней). В целом же климат предгорий Северного Тянь-Шаня формируется под воздействием северо-западных воздушных масс, а также влиянием расположенных в горах многочисленных ледников и снежников (рис. 13).

Поскольку целью хронобиологических исследований 1994 – 2008гг. ставилось испытание разработанной методологической основы и методов количественной оценки уязвимости растительных систем в период

глобального изменения климата, здесь уместно обратить внимание на материалы рис. 15, иллюстрирующие особенности изменения климата именно в этот период. Изменения осредненной по земному шару среднегодовой приповерхностной температуры (слева на графике рис.15) даны в отклонениях от средних за 1961–1990гг. Жирная кривая показывает сглаженный ход температуры (11-летние скользящие средние). Желтая область обозначает границы 95%-ного доверительного интервала для 11-летних средних, который не включает ошибки пространственного осреднения и нарушений однородности наблюдений. А распределение коэффициента линейного тренда потепления температуры приземного воздуха непосредственно в районе выполненных исследований даны в $^{\circ}\text{C}/10$ лет и показаны на графике справа.

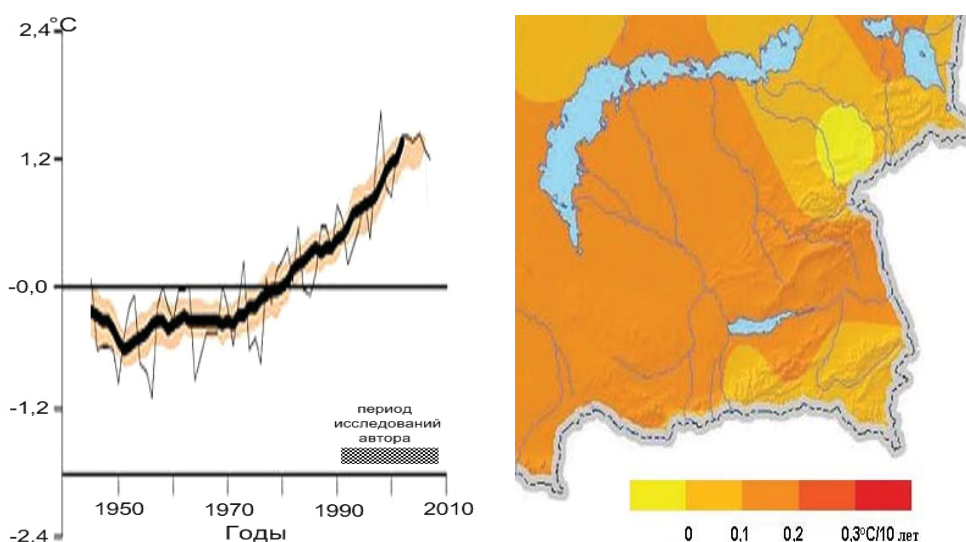


Рис.15.Изменения среднегодовой приповерхностной температуры(слева), осредненной по земному шару^{*)} и распределение коэффициента линейного тренда потепления температуры приземного воздуха в районе хронобиологических исследований за период 1936-2005 гг. в $^{\circ}\text{C}/10$ лет (справа) – по материалам Второго национального сообщения Казгидромета (2009).

^{*)} – данные Had CRUTEM3; температура воздуха над сушей и температура поверхности воды на акваториях океанов дана в отклонениях от средних за 1961–1990 гг. Жирная кривая показывает сглаженный ход температуры (11-летние скользящие средние), желтая область обозначает границы 95%-ного доверительного интервала для 11-летних средних, который не включает ошибки пространственного осреднения и нарушений однородности наблюдений. (Цит. по ОД, том 1.2008)

Как видим, предлагаемые вниманию читателя хронобиологические исследования были приурочены именно к весьма активному потеплению температуры приземного воздуха. Притом в этот период процесс потепления интенсивно развивался, как на уровне режима среднегодовой приповерхностной температуры осредненной по земному шару, так и непосредственно в районе исследований. Конкретно для района исследований об том наглядно свидетельствуют материалы Казгидромета, иллюстрирующие распределение коэффициента линейного тренда потепления температуры приземного воздуха (рис.15). По данным Казгидромета повышение температуры в районе исследований наблюдается практически повсеместно – от предгорий Северного Тянь-Шаня до Южного Прибалхашья. Притом среднегодовая температура воздуха возрастает в среднем до 0,31 град. за каждые 10 лет. Этими обстоятельствами обеспечивалась возможность выполнения очень важного условия – соблюдения принципа единственного различия в отношении меняющегося климатического режима местности.

На **первом ключевом участке** сбор материалов полевых наблюдений велся непрерывно с 1994 по 2008гг. Выполнялся хронобиологический анализ уязвимости фенособытий, нектаропродуктивности растений и консортивной связи между энтомофильными растениями и насекомыми-опылителями. Здесь были собраны 15-летние данные о режиме цветения растений, динамике и продуктивности их нектаровыделения, динамике трансформации консортивных связей между энтомофильными растениями и насекомыми-опылителями (Проскуряков, 2002а, б; 2003; 2005; 2007б). Одновременно с помощью термографа и гигрографа в режиме психрометрической будки круглосуточно с мая по сентябрь фиксировались температура и влажность воздуха на уровне фитосферы травостоя в 80см от минерализованной поверхности почвы. Фенологические наблюдения и метеонаблюдения выполнялись согласно опубликованным методическим указаниям (Бейдеман, 1960, 1974; Костюкевич, 1975). Материалы накопленной базы данных обеспечивали соблюдение принципа их единственного различия в отношении климатического режима. Объектами исследований были энтомофильные растения природных тугайных растительных сообществ. В их числе: лох остроплодный (*Elaeagnus oxycarpa* Schlecht); чингил серебристый (*Halimodendron halodendron* (Pall.) Woss.); гребенщик многоцветковый (*Tamarix ramosissima* Ledeb.); песчаная акация (*Ammodendron argenteum* (Pall.) Kuntze); селитрянга Шобера (*Nitraria schoberi* L.); астрагал коротконогий (*Astragalus brachypus* Schrenk); солодка уральская (*Glycyrrhiza*

uralensis Fish.); парнолистник обыкновенный (*Zygophyllum fabago* L.); кермек ушастый (*Limonium otolepis* (Schrenk) Kuntza); сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L.); остролодочник пушистый (*Oxytropis puberula* Boriss.); девясил каспийский (*Inula caspica* Blume); бодяк крылатый (*Cirsium alatum* (S.G.Gmel.) Bobr.); эремурус индерский (*Eremurus inderiansis* (M.B.Regel); ирис молочный (*Iris lactea* Pall.); цикорий обыкновенный (*Cichorium intubus* L.); мордовник белостебельный (*Echinops albicaulis* Kar.et Kir.); кендырь ланцетолистный (*Apocynum lancifolium* Russan.); верблюжья колючка (*Alhagi kirghisorum* Schrenk); карелиния каспийская (*Karelinia caspia* (Pall.) Less.); соссурея солончаковая (*Saussurea salsa* (Pall.) Spreng.); ломонос восточный (*Clematis orientalis* L.); цинанхум сибирский (*Cynanchum sibiricum* Willd.); повилика Лемановская (*Cuscuta lehmanniana* Vge.). Многие из перечисленных выше видов растений являются доминантами растительного покрова весьма обширных территорий не только Южного Прибалхашья, но также всего Казахстана и прилегающих республик (Глухов, 1937; Миньков, 1974; Антропов, 1975; Курочкина, 1979; Хамидов, 1988; Булгакова, 1989).

На втором ключевом участке, расположенном в предгорьях Северного Тянь-Шаня на территории коллекций растений Главного ботанического сада Института ботаники и фитоинтродукции МОН РК, наблюдения велись с 1994 по 2004гг. Сбор материалов полевых наблюдений выполнялся Л.М.Грудзинской. Здесь объектами исследований были интродуцированные растения – амми большая (*Ammi majous* L.), и анис обыкновенный (*Pimpinella anisum* L.). По опубликованным данным этих наблюдений за растениями (Грудзинская, 2005, 2007) и был выполнен хронобиологический анализ уязвимости показателей их жизнеспособности при интродукции в период изменения климата (Проскуряков, 2008б; 2009а). Для этого в качестве показателей жизнеспособности растений исследовались: средняя высота растений, продолжительность периода развития генеративных органов, дата начала цветения, масса 1000 штук семян. При хронобиологическом анализе характеристик этих показателей соблюдалась идентичность условий посева семян и выращивания растений.

Третий и четвертый ключевые участки располагались на территории садов и лугов предгорий Северного Тянь-Шаня. Здесь с 1994 по 2008гг. велись наблюдения и хронобиологический анализ уязвимости фенособытий у яблони Сиверса (*Malus sieversii* (Ldb.) M.Roem), абрикоса обыкновенного (*Armeniaca vulgaris* Lam.), малины садовой (*Rubus idaeus* L.), гусяного лука (*Gagea capusii* Terr.) и одуванчика обыкновенного (*Taraxacum officinale* Wigg.) (Проскуряков, 2009а).

Происходящее в период исследований глобальное повышение температуры воздуха устойчиво превышало уровень предшествовавшего температурного режима. Поэтому растения изученного региона оказались вынуждены вступить в новые для них погодные условия, которые могли повлечь за собою коренные изменения жизнеспособности, продуктивности, биологической устойчивости, биоразнообразия и биоценологических связей формирующихся растительных систем. Именно начальный период этих изменений и удалось охватить рассматриваемыми ниже хронобиологическими наблюдениями.

3.2. Анализ уязвимости фенособытий

К настоящему времени в качестве наиболее чувствительных индикаторов климатогенных изменений широко используются именно фенологические события у растений. При этом **основным способом определения климатогенного характера изменения фенологических событий является прямое сопоставление полученных временных рядов результатов фенонаблюдений с зафиксированными изменениями гидрометеорологических величин** (Воскова, Минин, 2005). В случаях же, когда необходимые данные метеонаблюдений отсутствуют, это компенсируется их расчетами (Семенов и др., 2006; ОД, том 2, 2008).

Как уже отмечалось выше, большой вклад в работу по изучению фенособытий у растений вносят исследования сотрудников заповедников, гидрометслужбы, различных агроstationаров, ботанических садов, дендрариев, лесных опытных станций, географических обществ и ряда других организаций. В Европе и России активно ведется работа по унификации методик наблюдений, обработки их результатов и созданию базы данных на межгосударственном уровне.

Однако при анализе материалов большие трудности в интерпретации результатов возникают не только по причинам отсутствия необходимых данных метеонаблюдений для каждого пункта фенологических исследований. Даже при наличии таких данных весьма существенным препятствием является то, что **различные виды растений в один и тот же период изменения климата проявляют себя неодинаково**. Например, исследованиями, выполненными с 1948 по 1998 гг. в Приокско-Террасном заповеднике установлено, что дата начала фазы цветения у травянистых растений – одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*) и мать-и-мачехи (*Tussilago farfara*) сместилась на 10-15 суток **раньше**. И, наоборот, – у сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*), рябины обыкновен-

ной (*Sorbus aucuparia*) и вереска обыкновенного (*Calluna vulgaris*) за этот же период наблюдений дата начала цветения сместилась, соответственно, на 13 и 6 и 14 суток **позже**. А относительно даты зацветания у черемухи обыкновенной (*Padus racemosa*) и совсем **не выявилось каких-либо достоверных направленных изменений** (Осипов, Реймерс, Рымкевич, 2001). По материалам же анализа А.А.Минина (2000) и А.В.Восковой (2006) для центральной части европейской территории России выявилось некоторое смещение зацветания рябины **на более ранние** (на 1-4 дня) сроки.

В Ильменском заповеднике за тридцатилетний период наблюдений 1970 – 1999 гг. **даты начала зацветания у разных видов растений тоже изменялись разнонаправлено**. У рябины обыкновенной дата цветения сместилась на 4 суток **позже**. А у первоцвета (*Primula macrocalix*), мать-и-мачехи (*Tussilago farfara*), иван-чая (*Chamaenerion angustifolium*) начало цветения сместилось **к более ранним** датам, соответственно, на 12, 14 и 6 суток. Но почти **не изменились** даты начала пыления у березы (*Betula pendula*) и зацветания шиповника иглистого (*Rosa acicularis*). По сообщению из Ильменского и Башкирского заповедников (Волков и др. 2001; Гордиенко, Леванова, 2001) зацветание рябины обыкновенной стало начинаться **позже**.

По мнению А.А.Минина (1991); М.А.Ведюшкина с соавт. (1995) и С.М. Семенова, Б.А.Кухта, Е.С.Гельвер (2004) основной причиной наблюдаемой разнонаправленности сдвига фенодат является нелинейность реакции растений на изменение климата. А из-за нередкого отсутствия необходимых метеоданных **возникают трудности широкого применения прямого сопоставления полученных результатов фенонаблюдений с изменениями гидрометеорологических величин. В итоге становится затруднительным получать и количественные оценки уязвимости фенособытий** растительных систем. Однако многие из трудностей связанных с количественным анализом динамики фенособытий позволяет избежать рассмотренная выше методологическая основа хронобиологического анализа уязвимости растений в период изменения климата.

В предыдущей главе было показано, что при хронобиологическом анализе растительные объекты можно рассматривать как процессуальную систему, фенособытия которой при изменении климата имеют определенную последовательность состояний во времени. При этом важно, чтобы фенонаблюдения проводились на постоянных участках, а накопленной базой данных обеспечивалось соблюдение принципа един-

ственного различия – меняющегося климатического режима местности. Тогда входом в такую процессуальную систему будет период жизни растений, т.е. временной интервал лет, в течение которого она функционирует. А конкретными состояниями периода жизни явятся годы наблюдений, охваченные исследованиями. Изучая связь между входом такой системы (периодом жизни) и ее выходом (фенодатами) в период изменения климата, можно получать числовые оценки временной динамики фенособытий, скорости и величины смещения даты их наступления за изученный период лет, а также степени уязвимости фенособытий – по величине рассчитанного корреляционного отношения. При этом для количественной оценки связи удастся использовать статистические методы, что повысит объективность полученных выводов.

Результаты применения данного подхода и алгоритма методики хронобиологического анализа фенособытий рассмотренного во 2-ой главе можно проиллюстрировать выполненными многолетними исследованиями даты зацветания растений, которой, как известно, характеризуется важнейший репродукционный процесс у растений. Объективность сбора информации при этих исследованиях обеспечивается тем, что дата зацветания легко и точно диагностируется. Притом, как было доказано Г.Н.Зайцевым (1981), дата начала цветения у растений имеет наименьшую неопределенность поля вероятностей и потому наиболее информативна по сравнению со всеми другими фенодатами. Сбор рассматриваемых ниже материалов фенологических наблюдений велся с 1994 по 2008гг. в границах охарактеризованного выше крупного экологического полигона, простирающегося от Северного Тянь-Шаня до Южного Прибалхашья. При этом для наблюдаемых объектов обеспечивалось соблюдение принципа единственного различия – меняющегося климатического режима местности.

Основные особенности временной динамики фазы цветения здесь можно проиллюстрировать на примере десяти видов, в числе которых были **представлены разные жизненные формы растений: деревья, кустарники, травы и лианы**. Все они наблюдались именно в период активного развития процесса изменения климата. Пять изучаемых видов растений находились в предгорьях Северного Тянь-Шаня (на 3 и 4 ключевых участках, см. раздел 3.1) . В их числе, как уже отмечалось, были яблоня Сиверса (*Malus sieversii* (Ldb.)M.Roem), абрикос обыкновенный (*Armeniaca vulgaris* Lam.), малина садовая (*Rubus idaeus* L.), гусиный лук (*Gagea capusii* Terr.), одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale* Wigg.). Другие пять видов растений наблюдались в районе дельты р. Или в Южном Прибалхашье на первом ключевом участке

(см. раздел 3.1). Здесь исследовались растения чингила серебристого (*Halimodendron halodendron* (Pall.) Woss.), кендыря ланцетолистного (*Apocynum lancifolium* Russan.), верблюжьей колючки (*Alhagi kirghisorum* Schrenk), солодки уральской (*Glycyrrhiza uralensis* Fish.) и ластовня сибирского (*Cynanchum sibiricum* Willd.).

Обсуждение результатов этих исследований целесообразно начать с материалов хронобиологического анализа таблицы 3, где даны статистические оценки, характеризующие уязвимость фазы цветения растений в числовом выражении. А также – двух блоков графиков (рис.16 и 17), на которых показаны рассчитанные линии регрессии, отражающие усредненное изменение функции (временной ход даты начала цветения растений) при равномерном увеличении аргумента (лет наблюдений).

Таблица 3

Результаты анализа степени уязвимости, скорости и величины смещения даты цветения растений в изученный период изменения климата

Наблюдаемый вид растений	№ ключевого участка	Наблю-даемое фено-событие	Годы наблю-дений	Средняя скорость смещения, дней/год	Общая величина смещения, дней	Уязви-мость	Корреля-ционное отноше-ние	$t_{факт}$	$t_{05табл.}$	$t_{01табл.}$
Растения предгорий Северного Тянь-Шаня										
Гусиный лук (<i>Gagea capusii</i> Terr.)	4	начало цветения	1994-2007	2,0	26	высокая	$0,86 \pm 0,15$	5,9	2,18	3,06
Одуванчик обыкновенный (<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.)	4	начало цветения	1995-2007	2,0	24	высокая	$0,72 \pm 0,22$	3,24	2,23	3,11
Яблоня Сиверса (<i>Malus sieversii</i> (Ldb.) M. Roem)	3	начало массов. цветения	1994-2008	1,3	18	высокая	$0,83 \pm 0,16$	5,27	2,16	2,95
Абрикос обыкновенный (<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.)	3	начало цветения	1994-2008	1,0	14	высокая	$0,85 \pm 0,15$	5,61	2,18	3,06
Растения Южного Прибалхашья										
Кендырь ланцетолистный (<i>Apocynum lancifolium</i> Russan.)	1	начало цветения	1994-2008	1,4	20	высокая	$0,79 \pm 0,17$	4,47	2,16	3,01
Солодка уральская (<i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fish.)	1	начало цветения	1995-2008	1,0	13	средняя	$0,60 \pm 0,23$	2,57	2,20	3,11
Ластовень сибирский (<i>Cynanchum sibiricum</i> Willd.)	1	начало массов. цветения	1995-2008	0,9	12	средняя	$0,54 \pm 0,24$	2,23	2,18	3,06
Чингил серебристый (<i>Halimodendron halodendron</i> (Pall.) Woss.)	1	начало цветения	1994-2007	0,8	10	средняя	$0,63 \pm 0,22$	2,79	2,18	3,06

Материалы таблицы 3 и рис.16,17 позволяют констатировать **факт уязвимости изучаемого фенособытия** для всех объектов. На это, прежде всего, указывают величины всех числовых оценок рассчитанных корреляционных отношений даты цветения растений. Притом для пяти наблюдаемых видов растений степень уязвимости оказалась очень высокой, стремящейся к функциональной. Это подтверждается статистически достоверными на 1%-ом уровне значимости **оценками величины** корреляционного отношения между фенособытиями и изученным периодом изменения климата.

В числе **высоко уязвимых растений** оказались гусиный лук, одуванчик обыкновенный, яблоня Сиверса, абрикос обыкновенный, кендырь ланцетолистный. Величины корреляционного отношения здесь варьировали в диапазоне от $0,72 \pm 0,22$ до $0,86 \pm 0,15$. У трех объектов исследований (чингила серебристого, ластовня сибирского, солодки уральской) уязвимость была также статистически достоверной, но **средней степени**. Величины корреляционного отношения здесь варьировали в диапазоне от $0,54 \pm 0,24$ до $0,63 \pm 0,22$. Обращает на себя внимание то об-

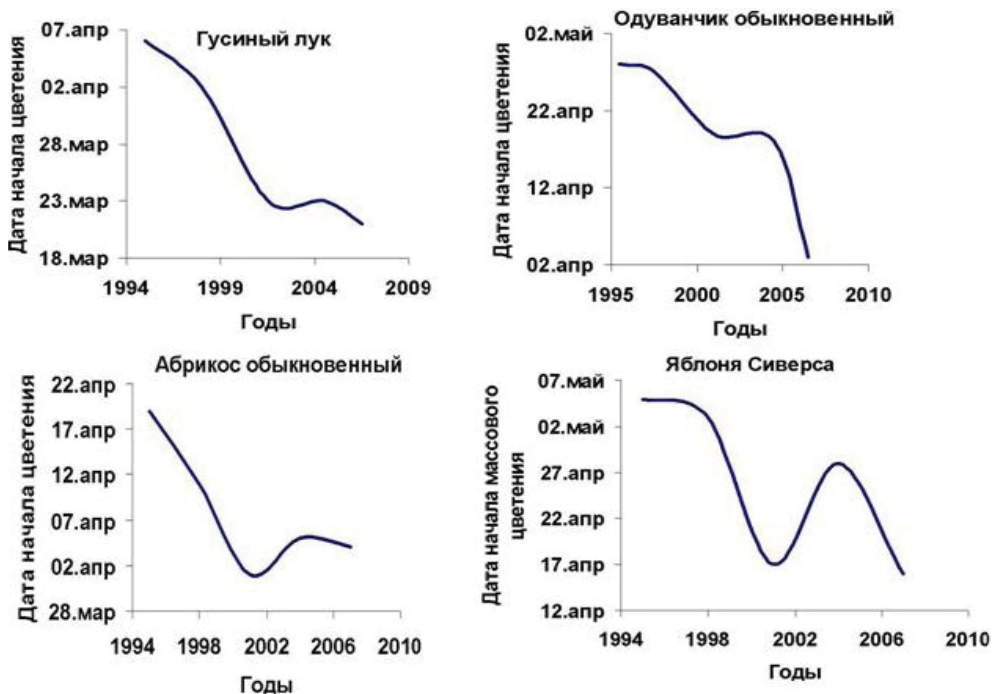


Рис.16.Линии регрессии, отражающие временной ход даты цветения у растений предгорий Северного Тянь-Шаня.

стоятельство, что именно для большинства видов растений анализируемых в южной части изученного экологического полигона числовая характеристика степени уязвимости фазы цветения оказалась наибольшей, стремящейся к характеристике функциональной зависимости. А у большинства видов растений расположенных в северной части экологического полигона (Прибалхашье) степень уязвимости фазы цветения чаще оказывалась средней (см. табл.3).

Независимо от местообитания исследуемых видов растений выявилась следующая общая характерная особенность временного хода наблюдаемых фенособытий. У всех видов растений иллюстрируемых рис.16 и 17 итоговый **общий сдвиг даты начала цветения** за изученный период наблюдений происходил **в более раннюю сторону**. В результате у растений предгорий Северного Тянь-Шаня (табл. 3, рис.16) **дата начала цветения сместилась в раннюю сторону** следующим образом: гусино-го лука – на 26 дней; одуванчика обыкновенного – на 24; яблони Сиверса – на 18 дней; абрикоса обыкновенного – на 14 дней. А у растений Южного Прибалхашья (табл.3, рис.17) дата начала цветения сместилась в

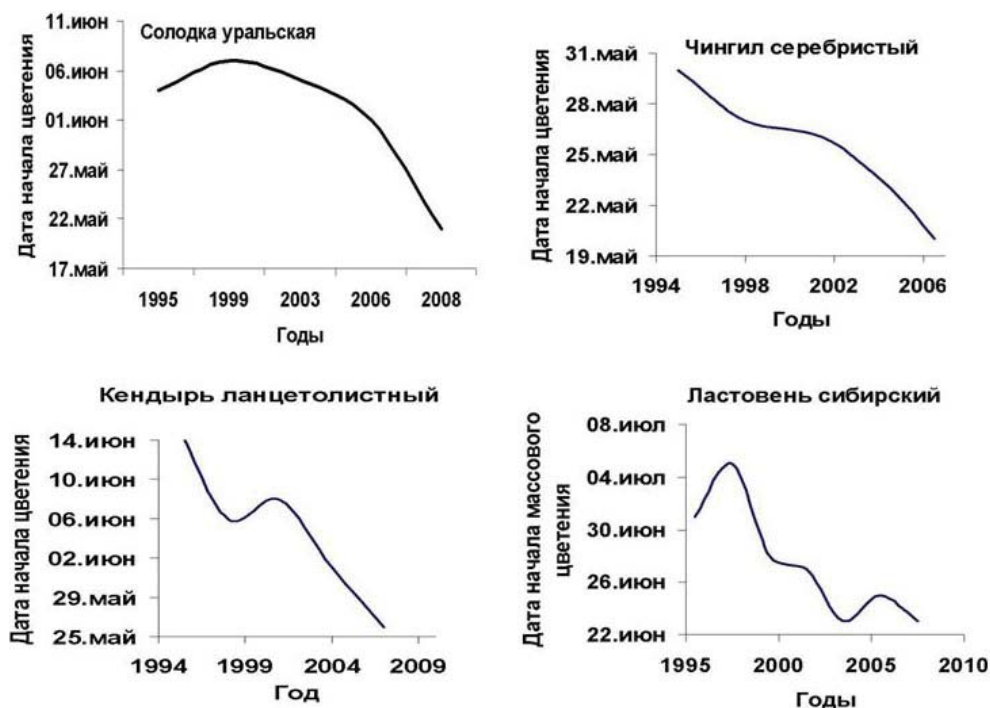


Рис. 17. Линии регрессии, отражающие временной ход даты цветения у растений Южного Прибалхашья.

раннюю сторону следующим образом: кендыря ланцетолистного – на 20 дней; солодки уральской – на 13 дней; ластовня сибирского – на 12 дней; чингила серебристого – на 10 дней. Как правило, у всех видов растений **такое смещение шло наравномерно**. А у ряда видов растений (абрикоса обыкновенного, яблони Сиверса, кендыря ланцетолистного, ластовня сибирского), даже наблюдались периоды, когда процесс смещения даты цветения не только замедлялся, но и в течение небольшого промежутка времени был направлен в обратную, т.е. в более позднюю сторону. Это могло быть следствием неравномерности процесса изменения климата.

Материалы числовых оценок таблицы 3 и рис.16,17 позволяют убедиться, что у растений, наблюдаемых в предгорьях Северного Тянь-Шаня, итоговое смещение даты цветения обычно происходило на значительно большие сроки, чем у растений Южного Прибалхашья (сравните линии регрессии рис.16-17 и их цифровые оценки в табл.3). При этом иллюстрируемая таблицей 3 скорость смещения даты цветения у растений предгорий Северного Тянь-Шаня чаще была более высокой, чем у растений Южного Прибалхашья. Но в целом в зависимости от видовой принадлежности и местообитания растений скорость смещения их даты цветения варьировала от 0,8 до 2-х дней в год.

Выяснилась также еще следующая **важная особенность поведения растений**. У всех наблюдаемых видов (гусяного лука, одуванчика обыкновенного, абрикоса обыкновенного, яблони Сиверса, ластовня сибирского, солодки уральской, кендыря ланцетолистного и чингила серебристого) имел место выраженный **изгиб линии регрессии**. Иногда он отражал смещение даты цветения даже на 4-5 дней. Причем такой изгиб был **преимущественно** вызван резким смещением данных **2002-ого года**. Но иногда это смещение дополнительно фиксировали и смежные с 2002-ым годы. **Синхронность таких явлений у разных видов** указывает на наличие причин адаптационного характера. Поэтому при преждевременном статистическом выравнивании линий регрессии можно утратить возможность дальнейшего анализа данных причин и их временной приуроченности.

Наряду с рассмотренными выше результатами хронобиологического анализа, как в предгорьях Северного Тянь-Шаня, так и в Южном Прибалхашье у нескольких видов растений имел место резко выраженный волнообразный характер погодиичной динамики даты начала цветения растений. Примерами, иллюстрирующими это явление, могут служить растущая в Южном Прибалхашье верблюжья колючка и широко распространенная в предгорьях Северного Тянь-Шаня малина садовая (рис. 18).

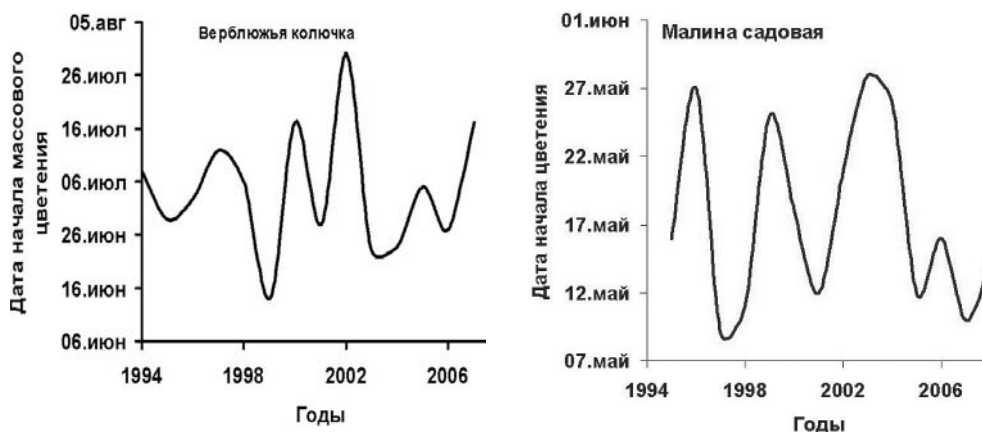


Рис. 18. Волновой характер динамики смещения даты цветения растений

Как видим, у обоих этих растений направление временного смещения даты цветения характеризуется сильными колебаниями членов динамического ряда. Даже последовательно идущие годы наблюдений могут показать смещение даты начала цветения на величину более 40 дней (см., например, – у верблюжьей колючки данные 2002-2003гг.). Становится ясно, что в таких случаях большие колебания сроков фенособытий свидетельствуют о действии исключительно мощных детерминирующих факторов.

Дать объяснение такого поведения для всех видов, у которых дата фазы цветения смещалась волнообразно, пока не представляется возможным. Но в отношении верблюжьей колючки, которая является доминантом многих растительных систем Казахстана и пограничных стран, имеющиеся материалы позволяют сделать такую попытку.

Как известно, верблюжья колючка цветет в наиболее жаркие месяцы лета (июне-июле). А в это время дневные температуры часто поднимаются выше 30°C или даже превышают 40°C. Отсюда можно было предположить, что верблюжья колючка филогенетически приспособлена к такому режиму, который, очевидно, сохранился и в период изменения климата, продолжая оказывать мощное регулирующее воздействие на поведение растений данного вида. На то, что именно этот режим температур мог оказать наиболее существенное влияние, указывают и ранее полученные на других объектах результаты физиологических исследований действия высоких температур на жизнедеятельность растительных организмов не в связи с их

обезвоживанием. Как уже отмечалось, работами ряда физиологов (Альтергот, 1965, 1981; Ахматов, 1976; Манойленко, 1988) было экспериментально доказано, что под действием супероптимальных температур (свыше 30 °С) подавляются общая синтетическая способность растений, интенсивность фотосинтеза и дыхание. Нарушается сопряженность окислительных и синтетических процессов. Тормозятся рост и развитие растений. Снижается их иммунитет.

В данной связи, чтобы выяснить особенности цветения верблюжьей колючки, были сопоставлены материалы 14-летних наблюдений за погодичной динамикой фазы цветения верблюжьей колючки и прослеженным в этот период режимом сверхоптимальных (более 30° С) температур. Температура воздуха замерялась непосредственно на ключевом участке фенологических наблюдений. Измерения велись в режиме психрометрической будки на уровне фитосферы травостоя (80см от поверхности почвы). Результаты погодичных наблюдений представлены на рисунке 19. На нем по оси абсцисс отложены годы наблюдений. Слева по оси ординат – дата начала массового цветения верблюжьей колючки, а справа по оси ординат – суммарное число дней июня с температурой выше 30° С. Знаками + и – отмечены тенденции сопряженного по годам направления изменения температуры и даты цветения.

По материалам рис.19 наглядно видно, что в преобладающем числе случаев (в 12-ти из 14-ти лет наблюдений) тенденции направления изменений сопряженных по годам температуры и даты цветения верблюжьей колючки полностью совпадают. С увеличением числа дней со сверхвысокой температурой воздуха в июне дата начала массового цветения верблюжьей колючки сдвигается на более поздние сроки. А с уменьшением числа дней со сверхвысокой температурой воздуха дата начала массового цветения верблюжьей колючки сдвигается на ранние сроки. Число таких совпадений подтвердилось в 85,7% лет наблюдений.

Иллюстрируемая рис.19 сопряженность временного хода даты начала цветения верблюжьей колючки и сверхвысоких температур может быть оценена путем расчета коэффициента ассоциации (r_A), предложенного К.Пирсоном. Как известно величина этого непараметрического показателя, изменяется от -1 до +1. После группировки данных и необходимых расчетов выяснилось, что связь между датой наступления массового цветения верблюжьей колючки и сверхвысокими температурами действительно имеет место.

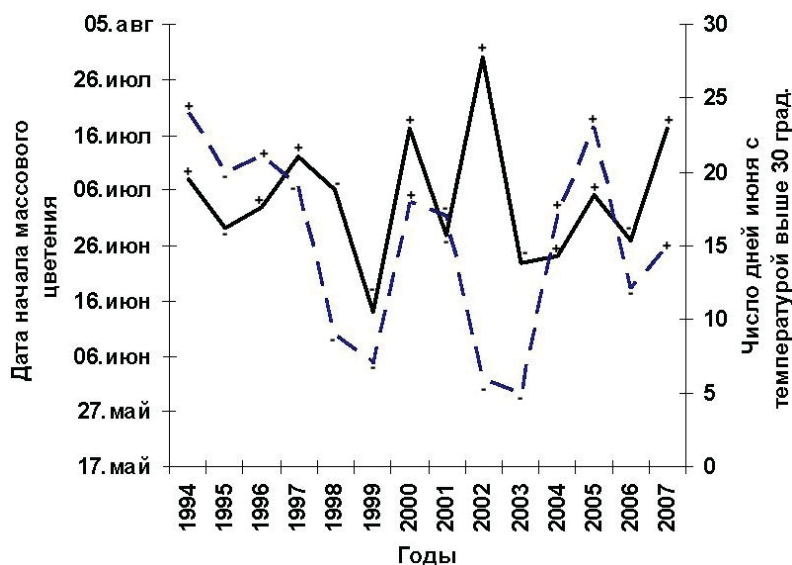


Рис. 19. Погодичная динамика сверхвысоких температур воздуха в июне (пунктир) и даты начала массового цветения верблюжьей колючки (сплошная линия). Пояснения в тексте.

По формуле предложенной К.Пирсоном она оценивается коэффициентом ассоциации $r_A = 0,75$, а с учетом поправки Йейтса (Лакин, 1990:245) на непрерывность вариации этот коэффициент ассоциации оказался равным $r_A = 0,60$ (при $t_{\text{факт}} = 2,63$ и $t_{05\text{табл}} = 2,18$). Полученная величина коэффициента ассоциации объективно указывает на наличие тесной связи между направлениями изменения даты начала цветения верблюжьей колючки и числа дней июня с максимальной температурой более 30°C . Нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается на 5%-ом уровне значимости. Поэтому с вероятностью 95% можно считать доказанным наличие тесной связи между тенденциями изменения анализируемых характеристик.

Выполненный статистический анализ связи свидетельствует о том, что у верблюжьей колючки действительно имеет место закономерная филогенетически выработанная реакция на сверхвысокие температуры. Такая реакция проявляется в смещении даты начала ее цветения под действием сильных колебаний сверхоптимальных температур воздуха в июне. В итоге наблюдаемая **волновая динамика даты начала цветения верблюжьей колючки является отражением волновой динамики изменения режима сверхвысоких температур воздуха.**

Однако волнообразная **динамика изменения сверхвысоких температур** коренным образом **отличается от плавной динамики средних характеристик потепления климата**, которая выяснилась по материалам многолетних наблюдений Казгидромета (см. данные Второго Национального сообщения Республики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 2009). Как свидетельствует о том рис.19, даже для последовательно идущих лет наблюдений количество дней со сверхвысокой температурой в июне может отличаться очень существенно. Например, в 1997-ом году число таких дней было 19, а в 1998-ом году – всего 9. В 1999 году оно составило 7 дней, а в 2000 году – 18 дней. В 2003-м году 5 дней, а в 2004-ом году -17 дней. Отсюда следует, что в случае с датой начала массового цветения верблюжьей колючки мы наблюдаем картину не синхронную с общей тенденцией глобального изменения климата. Эта картина **детерминируется спецификой вариабельности сверхвысоких температур воздуха, которая в силу своей асинхронности с глобальной тенденцией изменения климата и оказывает затушевывающее ее воздействие.**

В связи с вышеизложенными материалами представляется еще необходимым особо отметить тот факт, что, несмотря на высокое совпадение тенденций даты цветения и режима сверхвысоких температур местности, **из общей картины фиксируемого процесса резко выделились данные наблюдений 2002-ого года.** Как видно по материалам рис.19, в направлении с 2001 на 2002-ой год число дней июня с температурой $\geq 30^{\circ}\text{C}$ понизилось с 17 до 6-ти, т.е. почти в три раза. Но в отличие от этой тенденции **смещение даты начала массового цветения колючки наблюдалось не в раннюю, а, наоборот, в позднюю сторону.** Причем на очень большой срок – 32 дня. Становится ясно, что **хронобиологические наблюдения в данном случае зафиксировали исключительно сильное «возмущение» в поведении растений.** Притом природа его появления не имеет никакого отношения к общей тенденции варьирования даты цветения верблюжьей колючки.

Сходное по неадекватности общей тенденции «возмущение» в поведении растений в 2002-ом году имело место и для многих других изученных видов растений, что, как было отмечено выше, проявлялось в соответствующих изгибах линий регрессии даты начала их цветения (рис. 16,17). Такое сильное смещение линии регрессии даты начала цветения **по причине отклонения данных наблюдений**

именно 2002-го года происходило либо в раннюю, либо в позднюю сторону. При этом оно имело место у растений представляющих весьма широкий диапазон разнообразия жизненных форм: трав, лиан, кустарников, деревьев. У растений цветущих как ранней весной, летом, так и поздней осенью. У растений обитающих как в условиях степи предгорных равнин и пояса плодовых лесов Северного Тянь-Шаня, так и в условиях тугайных и пустынных территорий Южного Прибалхашья.

В целом изложенные выше материалы исследований позволяют заключить, что для большинства видов растений **в период изменения климата имеет место очень существенная разбалансировка ранее сложившегося хода фенособытий.** Применение представленной выше методологической основы хронобиологического анализа позволяет объективно установить данные факты. Дает возможность **получать статистически достоверную числовую оценку степени уязвимости фенособытий в очень широком диапазоне их изменчивости.** Такая количественная оценка уязвимости с высокой степенью чувствительности отражается величиной рассчитанного корреляционного отношения, линиями регрессии, числовыми оценкам общей величины смещения даты фенособытия за период наблюдений и числовой оценкой скорости изменения даты наступления фенособытий. При этом на основе установленных величин корреляционных отношений и построенных линий регрессии **оказывается возможным количественно исследовать степень близости уязвимости каждого наблюдаемого фенологического события к функциональной зависимости.** Удастся **выяснить временной ход смещения фенособытий и увидеть количественные изменения линии регрессии изучаемых показателей за любой изученный период изменения климата.** Важным преимуществом хронобиологического анализа здесь является и то, что **необходимая оценка может быть получена для любого пункта, даже если метеонаблюдения там никогда не проводились.**

Вместе с тем, благодаря высокой чувствительности хронобиологического анализа может быть объективно установлен и не детерминируемый общей тенденцией изменения климата, а, наоборот, затушевывающий его характер изменчивости даты фенособытий. Изучение причин данного явления позволит выявлять новые факторы, корректирующие наблюдаемые закономерности.

3.3. Анализ уязвимости интродуцированных растений

Реальные возможности хронобиологического анализа показателей жизнеспособности растений здесь можно проиллюстрировать и на интродуцированных растениях, находящихся на 2-ом ключевом участке (см. раздел 1.1). В данной связи рассмотрим результаты хронобиологического анализа растений амми большой (*Ammi majous* L.), и аниса обыкновенного (*Pimpinella anisum* L.), о котором впервые был сделан доклад на состоявшейся в г. Алматы научной конференции посвященной проблеме обеспечения биологической безопасности Казахстана (Проскуряков, 2008а,б).

Анис обыкновенный – травянистое однолетнее растение, ареал которого приурочен к странам Средиземноморья и Передней Азии. По нему имелаась база данных наблюдений за период с 1994 по 2004гг. Амми большая – также однолетнее травянистое растение. Ее родина – Средиземноморье. Наблюдения за ней тоже выполнялись в период с 1994 по 2004гг. Оба вида растений испытывались в культуре на территории Главного ботанического сада Республики Казахстан, расположенного в северных предгорьях хребта Заилийский Алатау, характеристика которого дана в первом разделе данной главы.

С целью хронобиологического анализа в качестве показателей жизнеспособности растений исследовались: средняя высота растений, продолжительность периода развития генеративных органов, дата начала цветения, масса 1000 штук семян. Характеристики этих показателей были учтены с соблюдением идентичности условий посева семян, выращивания растений и постоянства участков, где велись наблюдения.

Общеизвестно, что продолжительность периода развития генеративных органов, дата начала цветения и масса 1000 штук семян характеризуют важнейшие процессы и жизнеспособность растений, адаптационные особенности их роста и развития, позволяют судить о репродукции растений в каждой конкретной местности, при конкретных условиях режима среды обитания. Эти характеристики растений отражают обеспеченность их устойчивого воспроизводства и продолжения рода, способность растений уложиться в предоставляемые внешними условиями время и режимы среды обитания. Высота растений также весьма важный показатель. По этому показателю удастся объективно оценить биологическую продуктивность растений и степень благоприятности среды обитания для их жизнедеятельности.

Для решения задач количественного хронобиологического исследования была использована методологическая основа и алгоритмы методики, которые рассматривались во второй главе книги. То есть в методологическом плане **хронобиологический анализ выполнялся на базе процессуального представления о растительной системе** и использования понятия о «черном ящике». В содержание «черного ящика» были отнесены все процессы и структуры растительной системы, определяющие трансформацию свойств растений под действием факторов меняющейся среды обитания. Их функция исследовалась без детализации внутреннего содержания «черного ящика», – путем корреляционного и регрессионного анализа связи между входом и выходом процессуальной растительной системы.

При таком подходе к решению задачи **входом** в рассматриваемую процессуальную систему был **период жизни (интервал лет)**, в течение которого изучались растения. Конкретными **состояниями периода жизни** были **годы, охваченные наблюдениями**. **Выходом процессуальной системы** были исследуемые **показатели жизнеспособности** растений, трансформированные под действием среды обитания. Применяя рассмотренную во второй главе методологическую основу и алгоритм методики обработки материалов исследований, удалось выполнить анализ корреляционного отношения и регрессии между характеристиками растений и периодом лет наблюдений. Была оценена теснота их связей, что позволило судить о степени уязвимости биологических показателей; и определены линии регрессии, характеризующие временной ход усредненного изменения показателей жизнеспособности растений за изученный период изменения климата. Затем в соответствии с алгоритмом методики представленной во второй главе строились графики линий регрессии изучаемых характеристик растений, которые отражали усредненное течение функции (характеристики растений) при равномерном увеличении аргумента (лет наблюдений). Рассчитывались величины и скорость смещения характеристик биологических показателей за изученный период.

В течение исследований соблюдался **принцип единственного различия (климата)**. Поэтому именно климат и являлся основным регулятором среды обитания, детерминирующей работу исследуемой процессуальной растительной системы. В данной связи ожидалось, что если **среда обитания меняется в сторону благоприятную для растений**, то на выходе системы будет фиксироваться улучшение их продук-

тивности и жизнеспособности. Если же среда обитания будет меняться в неблагоприятную сторону, то характеристика жизнеспособности растений станет ухудшаться. При отсутствии существенного изменения среды обитания в поведении растений также не произойдет существенных изменений.

Расчеты корреляционного отношения между входом в систему (периодом жизни) и ее выходом (показателями жизнеспособности растений), изучение линий регрессии и анализ рядов динамики позволили выявить очень важные процессы, происходящие в период изменения климата. Результаты выполненного хронобиологического анализа представлены в таблице 4 и на графиках рис. 20, 21, где показаны рассчитанные линии регрессии.

Таблица 4

Результаты анализа показателей жизнеспособности растений.

Изучаемый показатель	Степень уязвимости показателя	Величина корреляционного отношения	$t_{\text{факт}}$	$t_{05\text{табл}}$	$t_{01\text{табл}}$
Данные по амми большой					
Средняя высота	высокая	$0,81 \pm 0,26$	3,14	2,57	4,03
Дата начала цветения	высокая	$0,81 \pm 0,20$	3,97	2,31	3,36
Масса 1000 штук семян	средняя	$0,69 \pm 0,22$	3,15	2,20	3,11
Данные по анису обыкновенному					
Средняя высота	высокая	$0,72 \pm 0,14$	3,30	2,23	3,17
Период развития генеративных органов	высокая	$0,77 \pm 0,21$	3,67	2,26	3,25
Дата начала цветения	средняя	$0,64 \pm 0,17$	2,65	2,23	3,17
Масса 1000 штук семян	высокая	$0,73 \pm 0,26$	2,83	2,37	3,5

Выполненный корреляционный анализ статистически достоверно (с вероятностью 95÷99%) свидетельствует о том, что **в исследованный период изменения климата для большинства изученных показателей**

жизнеспособности растений имеет место высокая степень уязвимости (см. таблицу 4). Нередко она близка к функциональной зависимости. Это подтверждается тем, что в ряде случаев рассчитанные числовые характеристики корреляционных отношений оказались даже выше 0,8. Средняя степень уязвимости зафиксирована только для даты начала цветения у аниса обыкновенного и массы 1000штук семян амми большой.

Линии регрессии рис. 20, 21 также наглядно иллюстрируют, что за период наблюдений в предгорьях Заилийского Алатау имели место существенные количественные изменения изучаемых показателей жизнеспособности растений. Причем процессы этих изменений шли неравномерно и даже в разных направлениях в зависимости от видовой принадлежности растений. Это явилось следствием того, что **высокая уязвимость жизнеспособности растений в период изменения условий их обитания проявилась как в установленных фактах улучшения качества жизни одного вида растений, так и его ухудшения для другого.**

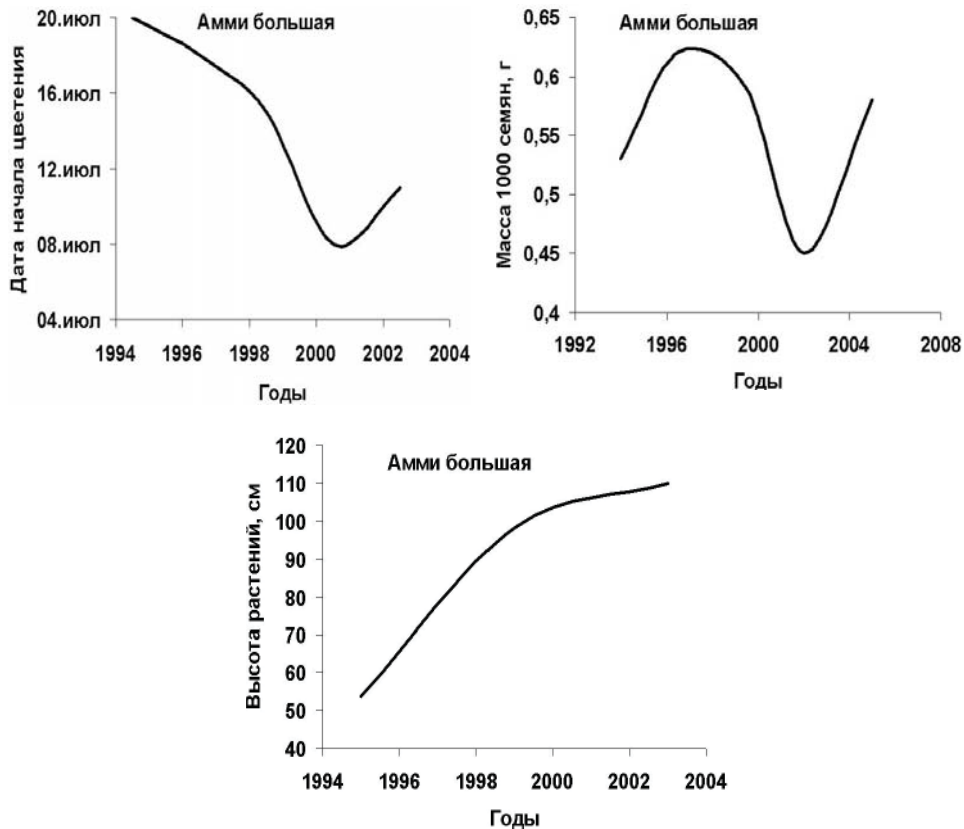


Рис. 20. Линии регрессии, отражающие временной ход изменения показателей жизнеспособности амми большой

Наиболее успешным растением в меняющихся климатических условиях оказалась амми большая (табл.4, рис.20). За изученный период изменения климата дата начала ее цветения к 2001 году стала на 9 дней раньше. Она менялась со средней скоростью 0,9 дня в год.

Масса 1000 семян у амми большой в период с 1994 по 1997гг. сначала увеличивалась. Затем к 2002 году понижалась, но потом опять продолжала устойчиво расти. Очень важные изменения произошли и в продуктивности амми большой. В изученный период изменения климата средняя высота взрослых однолетних растений этого вида увеличивалась со средней скоростью 5,7см в год. В итоге, если в начале периода наблюдений осенью растения амми достигали только 52см высоты, то в конце наблюдаемого периода они стали в среднем достигать свыше 110см высоты. А в целом за период наблюдений (1994-2004гг) сдвиг продуктивности однолетних растений амми по высоте за год составил 58см. То есть продуктивность амми большой возросла более чем вдвое.

Но вот для аниса обыкновенного за изученный период изменения климата шансы на выживание свелись к минимуму. Такой временной ход изменений процессов репродукции и продуктивности этого растения иллюстрируют линии регрессии рис.21. За изученный 10-летний период изменения климата дата начала цветения аниса обыкновенного стала быстро смещаться к более поздним срокам и сдвинулась на 12 дней. Средняя скорость смещения этой даты составила 1,2 дня в год. Длительность периода развития генеративных органов у аниса до 2002 года варьировала в пределах 61-63 дней, но затем стала быстро увеличиваться и достигла 72 дней. Масса 1000 семян у растений этого вида после непродолжительного роста до 2,3грамм к 1997 году стала быстро падать и к концу изученного периода снизилась до 1,6грамм. Высота однолетних растений аниса сначала увеличилась до 58,4см к 1997 году, а потом быстро падала и уменьшилась к концу периода наблюдений на 18см. Общая величина уменьшения средней высоты однолетних растений аниса за 10-летний период наблюдений составила 9см, при средней скорости ее изменения равной 0,9см в год.

Такие изменения показателей жизнеспособности аниса обыкновенного объясняются тем, что в новых условиях среды обитания ему трудно адаптироваться. Здесь явно имеет место критическое для этих растений состояние экологического режима. Происходящие изменения среды существенно ухудшают их жизнеспособность, не отвечают их биологическим требованиям, снижают биологическую продуктивность, угнетающе действуют на репродукцию, рост и развитие.

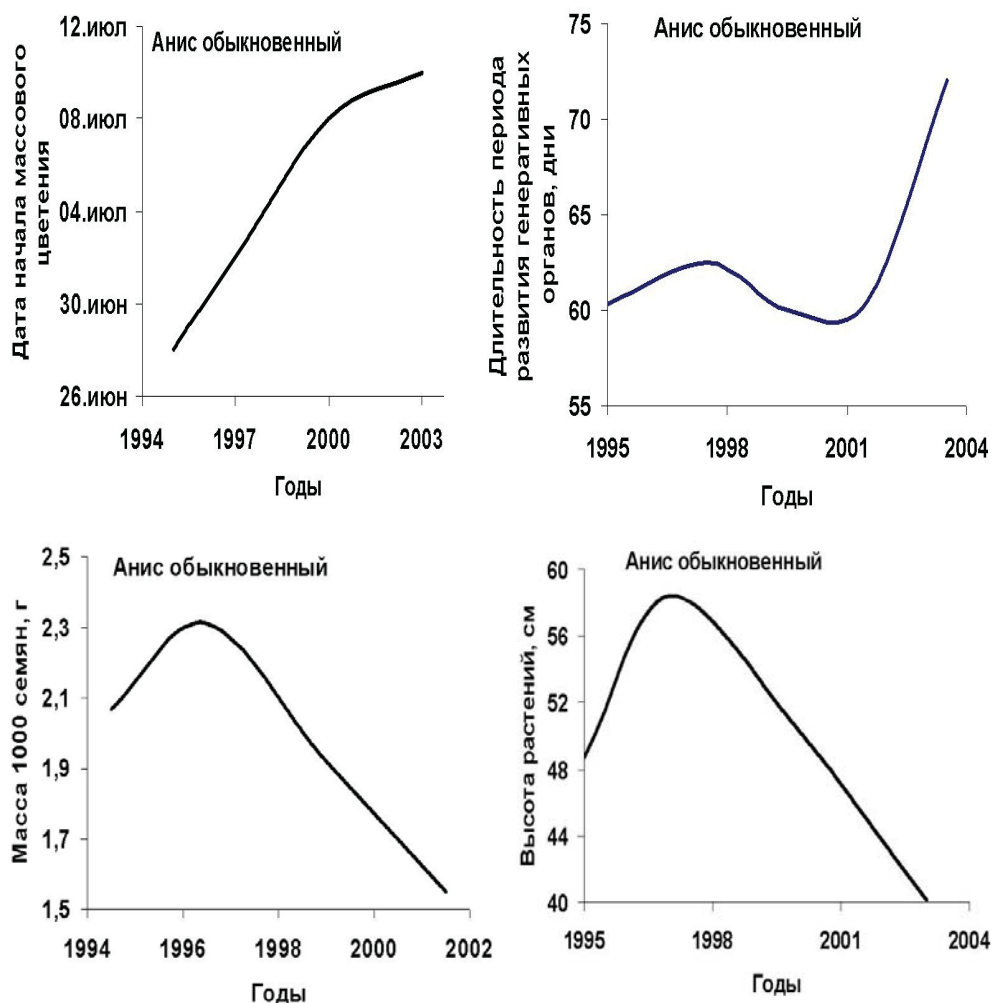


Рис.21. Линии регрессии, отражающие временной ход изменения показателей жизнеспособности аниса обыкновенного

При анализе отмеченных выше закономерностей обращает на себя внимание еще одна весьма важная особенность, которая проявилась у обоих интродуцированных видов растений. Она выразилась в том, что линии регрессии отражающие временной ход изменения изученных характеристик высоты растений, массы 1000 семян, даты начала цветения у амми большой, а также продолжительности периода развития генеративных органов и даты начала цветения у аниса обыкновенного, показали сильное смещение по причине имевшего место резкого отклонения данных наблюдений именно 2002-го года. Как представляет-

ся, регистрация этого явления при хронобиологических исследованиях подтверждает не только высокую чувствительность хронобиологического анализа, но и необходимость специального изучения вызвавших это причин.

В целом рассмотренные результаты хронобиологических исследований свидетельствуют о том, что в период глобального потепления в изученном районе интенсивно происходят закономерные и очень важные для растений изменения среды их обитания. Они весьма существенно влияют на процессы их репродукции и биологическую продуктивность. Детерминируемые этим изменения показателей жизнеспособности растений происходят очень быстро. Но динамика таких процессов имеет нелинейный характер.

Полученные результаты также доказывают весьма большие возможности хронобиологического анализа, который позволит решать следующие задачи.

1. Статистически достоверно и для широкого спектра показателей жизнеспособности растительных систем определять числовые оценки степени их уязвимости за любой период изменения климата.

2. Получать наглядное графическое изображение линий регрессии, количественно характеризующих временной ход изменения показателей жизнеспособности растений за весь срок наблюдений, когда меняется климат.

3. На основе числовых характеристик корреляционного и регрессионного анализа уязвимости дифференцировать основные типы адаптационной стратегии видов растений. Выяснять принадлежность того или иного вида растений к определенному типу стратегии адаптации в трансформирующихся климатических условиях. В любом периоде изменения климата оценивать перспективность исследуемых видов растений в природных условиях, в культуре и при интродукции. Осуществлять интерполяционный прогноз возможного хода трансформации их жизнеспособности и свойств.

4. Пополнять научную основу для управления растительными системами, позволяющую ослабить вредные последствия изменений их среды обитания. Притом решать такую задачу для любого местообитания, где имеются преемственные, многолетние достоверные результаты наблюдений за поведением растений.

5. Получать объективные результаты при исследовании адаптации растений интродуцируемых в новые регионы. При этом хронобиологический анализ приобретает самостоятельное значение как способ оцен-

ки результатов интродукционных испытаний растений, дающий основу для принятия экспертного заключения о перспективности интродуцируемых растений.

Количественный хронобиологический анализ показателей жизнеспособности как интродуцированных, так и аборигенных видов растений позволит успешнее подготовиться к трансформации растительного покрова и его последствиям в культуре и природных условиях. Сделать это тогда, когда видимых признаков (сокращения ареалов, исчезновения видов растений и т.п.) еще не происходит. На выходе рассматриваемой процессуальной системы можно исследовать не только показатели жизнеспособности растений, биологическую продуктивность, но и биохимические характеристики их сырья, содержание лекарственных веществ, технические свойства растительной продукции и многое другое. Вся эта информация будет чрезвычайно ценна для разработки и применения стратегии управления растительным покровом, его реставрации и природопользования в новых климатических условиях.

3.4. Анализ уязвимости биоценотических процессов

Общеизвестно, что биоценозы суши представляют собою устойчивые сообщества совместно существующих растений, животных и микроорганизмов. Все члены биоценоза прямо или косвенно связаны между собой консортивными отношениями, процессами биоценотического отбора видов, круговоротом веществ и транспортом энергии. Этими связями обусловлена устойчивость биоценозов и динамика биоценотических процессов. Причем продуктивность биоценозов определяется, главным образом, растительными системами высших растений, накапливающими биомассу благодаря фотосинтезу на солнечной энергии. Но, как уже было сказано, именно климат играет роль основного регулятора работы растительных систем биоценозов. Отсюда становится понятна важность, приоритетность и острая необходимость хронобиологического анализа уязвимости биоценотических процессов в период глобального изменения климата.

Возможности применения разработанной методологической основы для хронобиологического анализа биоценотических процессов здесь уместно проиллюстрировать результатами изучения нектаропроductивности энтомофильных растений, при нарушении которой их репродукция и нормальное функционирование биоценозов прекращается. **Мате-**

риалы для анализа были собраны за период изменения климата с 1994 по 2008гг. на первом ключевом участке, расположенном в Южном Прибалхашье (см. раздел 1). В задачу исследований входило выполнить хронобиологический анализ и получить числовые характеристики уязвимости и временного хода важнейшего консортивного процесса – медосбора, которым характеризуется биотическая связь энтомофильных растений с насекомыми – потребителями их нектара. В качестве сборщиков нектара использовались пчелы.

С учетом специфики этих исследований кратко напомним основные понятия и определения, используемые при работе с пчелами (Ковалев и др., 1973; Таранов, 1987; Буренин, Котова, 1985; Советский энциклопедический словарь, 1980). Под **медосбором (взятком)** понимается количество нектара собранного пчелиной семьей. Период, когда нектар в улей не поступает, называется **безвзятчным**. Если семья пчел приносит нектара так мало, что его хватает только на кормление пчел и расплода, то такой медосбор называется **поддерживающим**. Если же в улье мед накапливается, то поступление нектара называется **продуктивным**. Когда на протяжении длительного периода тянется невысокий продуктивный взятки, прерываемый только плохой погодой, то мы имеем дело с **естественным нектароносным конвейером**. **Главным медосбором** считается период с приносом нектара свыше 1кг в день. В период медосбора **сильной считается семья**, в которой имеется 60 и более тысяч особей пчел.

Объектом исследований были медоносные растения природных тугайных растительных сообществ Южного Прибалхашья, расположенных в дельте р. Или и ее притоков (Топар, Жидели, Кетпенкалды и др.). Его географическая характеристика дана в первом разделе главы. В этой местности медоносные растения, несмотря на жаркий климат, не испытывают недостатка в почвенной влаге, так как грунтовые воды залегают близко к поверхности и корни растений легко достигают их. Наиболее существенные отличия в среде обитания по годам наблюдений возникают в результате воздействия температуры воздуха.

Основные медоносы выявлялись по литературным данным и результатам полевых наблюдений. Определение режима поддерживающего и продуктивного медосбора, изучение динамики медосбора в растительных сообществах велись по общепринятым методикам (Глухов, 1937; Котова, 1985) путем регулярного измерения привеса контрольного улья с сильной семьей пчел. Для этого контрольный улей с сильной семьей пчел ставился на весы и вечером, после окончания лета пчел ежедневно

взвешивался. Данным методом **продуктивность медосбора оценивалась именно как результат биотического взаимодействия растений и насекомых – опылителей.**

Для решения задач биоценотических исследований были выполнены 15-летние наблюдения посуточной динамики медосбора, как на уровне всей совокупности участвующих медоносов, так и для отдельных видов растений. Изучена фенология медоносов, динамика развития силы пчелосемей. Все исходные данные для хронобиологического анализа уязвимости изучаемой консортивной связи были получены на постоянном ключевом участке тугайных растительных систем путем регулярных наблюдений за медосбором сильных семей серых горных кавказских пчел. Материалы накопленной базы данных обеспечивали соблюдение принципа их единственного различия в отношении климатического режима.

При решении задачи хронобиологического анализа на уровне всей совокупности участвующих медоносов медоносная база рассматривалась как процессуальная система, которая имеет определенную последовательность состояний во времени. В качестве входа в эту систему был принят изученный период жизни медоносной базы, т.е. временной интервал лет, в течение которого она функционировала. Состояниями этого периода жизни были конкретные годы выполненных наблюдений. А выходом рассматриваемой процессуальной системы являлись все изучаемые характеристики медосбора. При статистической обработке материалов хронобиологического анализа исследовались корреляционные отношения и регрессии, отражающие связь между характеристиками медоносной базы и периодом ее функционирования, определялась величина смещения характеристик изучаемых показателей и скорость их изменения. Определялась степень уязвимости показателей медосбора.

Для получения числовых характеристик степени уязвимости показателей медосбора рассчитывалась теснота их связи (корреляционные отношения) с изучаемым периодом лет (входом в систему), когда происходили изменения климата. А для количественного анализа их динамики в период функционирования медоносной базы (с 1994 по 2008гг.) изучались регрессии общей продуктивности медосбора у контрольной семьи пчел, длительности ее продуктивного (свыше 1 кг/сут) медосбора, а также длительности безвзяточного периода. Исследуя связь между характеристиками медосбора и периодом жизни медоносной базы (входом в систему) уда-

лось проследить временной ход происходящих изменений медосбора. В соответствии с алгоритмом методики рассмотренной во 2-ой главе строились графики линий регрессии изучаемых характеристик медоносной базы, которые отражали усредненное течение функции (медопродуктивности растений) при равномерном увеличении аргумента (лет наблюдений).

Поскольку при исследованиях соблюдался **принцип единственного различия (климата)**, то именно климат и являлся главным регулятором работы исследуемой процессуальной растительной системы. В данной связи ожидалось, что если **климат меняется в сторону благоприятную для растений, то на выходе системы будет фиксироваться улучшение их медопродуктивности**. Если же климат будет меняться в **неблагоприятную сторону, то характеристика медопродуктивности станет ухудшаться**.

Было установлено, что в формировании медоносной базы Южного Прибалхашья участвует свыше 24 видов растений. При этом в большинстве растительных систем в качестве основных доминирующих видов растений представлены именно медоносы. На ключевом участке объекта исследований наибольшая часть энтомофильных растений в годы с типичными погодными условиями обеспечивает медосбор лишь поддерживающий развитие пчелосемей. К числу этих видов относятся лох остроплодный (*Elaeagnus oxycarpa* Schlecht), селитрян-ка Шобера (*Nitraria schoberi* L.), астрагал коротконогий (*Astragalus brachypus* Schrenk.), ломонос восточный (*Clematis orientalis* L.), солодка уральская (*Glycyrrhiza uralensis* Fish.), парнолистник обыкновенный (*Zygophyllum fabago* L.), кермек ушастый (*Limonium otolepis* (Schrenk) Kuntze), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L.), остролодочник пушистый (*Oxytropis puberula* Boriss.), девясил каспийский (*Inula caspica* Blume), бодяк крылатый (*Cirsium alatum* (S.G.Gmel.) Bobr.), эрему-рус индерский (*Eremurus inderiansis* (M.B.Regel), ирис молочный (*Iris lactea* Pall.), повилика Лемановская (*Cuscuta lehmanniana* Bge.), цико-рий обыкновенный (*Cichorium intubus* L.), мордовник белостебельный (*Echinops albicaulis* Kar.et Kir.) и др.

Продуктивный же медосбор обычно формируется **весной** (май) песчаной акацией (*Ammodendron argenteum* (Pall.) Kuntze) и чингилем серебристым (*Halimodendron halodendron* (Pall.) Woss.); **летом** – кендырем ланцетолистным (*Apocynum lancifolium* Russan.), верблюжьей колючкой (*Alhagi kirghisorum* Schrenk), цинанхумом сибирским (*Cynanchum sibiricum* Willd.), карелинией каспийской (*Karelinia caspia* (Pall.) Less.),

гребенщиком многоцветковым (*Tamarix ramosissima* Ledeb.); **осенью** – соссуреей солончаковой (*Saussurea salsa* (Pall.) Spreng.). В некоторые годы при благоприятных условиях отдельные виды медоносных растений, из разряда поддерживающих, переходят в продуктивные.

Выполненные **оценки** коэффициентов корреляционного отношения и изучение линий регрессии между показателями медоносной базы и исследованным периодом ее жизни позволили выяснить очень важные процессы, происходящие в период изменения климата.

Оказалось, что **длительность продуктивного медосбора** (более 1 кг/сут) с 1 июня по 31 августа очень тесно и притом нелинейно коррелирует с изученным периодом функционирования медоносной базы: корреляционное отношение $\eta_{yx} = 0,7522$; ошибка корреляционного отношения $s_{\eta} = 0,1828$; фактическое значение критерия Стьюдента $t_{\eta\text{факт}} = 4,1149$ больше табличного $t_{01\text{табл}} = 3,01$. **Количество безвзяточных дней** также тесно коррелирует с изученным периодом функционирования медоносной базы: корреляционное отношение $\eta_{yx} = 0,7779$; ошибка рассчитанного корреляционного отношения $s_{\eta} = 0,1743$; фактическое значение критерия Стьюдента $t_{\eta\text{факт}} = 4,4630$ больше табличного $t_{01\text{табл}} = 3,01$. То же самое можно констатировать и в отношении **общей продуктивности медосбора**: корреляционное отношение $\eta_{yx} = 0,7707$; ошибка корреляционного отношения $s_{\eta} = 0,1839$; фактическое значение критерия Стьюдента $t_{\eta\text{факт}} = 4,1909$ больше табличного $t_{01\text{табл}} = 3,06$.

Как видим, для исследованных показателей медосбора теснота их связи с периодом жизни медоносной базы составляет 75% -78% от полной неразрывной. Такая связь близка к функциональной. Во всех случаях нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается, т.к. $t_{\eta\text{факт}} > t_{01\text{табл}}$ и связь статистически достоверна на 1%-ном уровне значимости. Следовательно, числовые характеристики **результатов хронобиологического анализа** с вероятностью 99% **свидетельствуют об очень высокой степени уязвимости всех анализируемых показателей медосбора в изученный период изменения климата.**

На основе выполненного хронобиологического анализа количественные зависимости между периодом жизни медоносной базы и ее характеристиками могут быть выражены в виде графиков линий регрессии (рис. 22). Изменение общей продуктивности медосбора за год показано на левой диаграмме рис.22, а числа дней с продуктивным взятком и без взятка на правой диаграмме рис. 22. По диаграммам рис.22 легко убедиться, что **в изученный 15-летний период функционирования медоносной базы произошли весьма существенные количественные изменения**

временного хода ее важнейших характеристик. В два с половиной раза возросло число дней без взятка и почти вдвое уменьшилось количество дней с продуктивным взятком. Втрое меньше стала прибыль в весе контрольного улья за летний период медосбора.

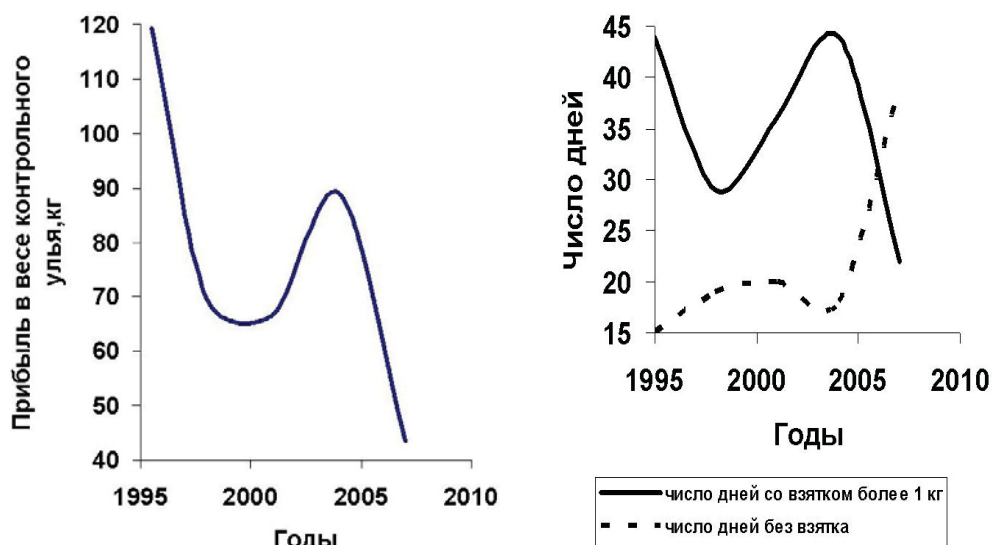


Рис. 22. Линии регрессии, иллюстрирующие временной ход общей продуктивности медосбора (слева), числа дней с продуктивным взятком и без взятка (справа)

При этом в изученный период изменения климата **процесс трансформации медоносной базы шел очень неравномерно. Имели место две депрессии продуктивного взятка и общей продуктивности медосбора.** Первая закончилась к 1998 – 2000 году. После нее вплоть до 2004 года длительность продуктивного взятка и общая продуктивность медосбора за лето росли, а число безвзяточных дней падало. Но затем снова наблюдалось **очень резкое падение длительности и продуктивности медосбора.** И уже к 2008 году изученные характеристики стали самыми экстремальными за весь охваченный наблюдениями период жизни медоносной базы. Средняя скорость уменьшения общей продуктивности медосбора составила 8,7 кг/год, что за изученный период привело к уменьшению общей годовой продуктивности медосбора на 78 кг. Число безвзяточных дней росло со скоростью 3,5 дня в год и потому к концу изученного периода их количество увеличилось до 35 дней в год. Число дней со взятком более

1кг в сутки, наоборот, – уменьшалось со скоростью 2,3 дня в год и за изученный период снизилось на 21 день.

Все эти изменения привели к очень существенным сдвигам и в картине посуточной динамики медосборов. Это можно проиллюстрировать на примерах фактического привеса контрольного улья в 2004 и 2007 году (рис.23).

Как показано на рис.23 в 2004 году для данной местности еще был характерен ярко выраженный главный медосбор в июне-июле с продуктивным взятком, дающим суточную прибыль до 5-6кг от семьи пчел. К началу августа он заканчивался и далее имел место в основном поддерживающий взяток до 1 кг/сут. К концу же изученного периода тип медосбора совершенно изменился. Даже у сильных пчелосемей стал преобладать в основном поддерживающий взяток с раннелетних и среднелетних медоносов. Лишь в последней декаде августа в течение недели он был продуктивным. Как будет видно из дальнейшего анализа, эта прибавка имела место за счет нектаровыделения позднелетнего медоноса – соссии солончаковой (*Saussurea salsa* (Pall.) Spreng.).

На основании изложенных выше результатов хронобиологического анализа **можно констатировать начало развития кризиса опыления энтомофильных растений** региона Южного Прибалхашья. Дальнейшее ухудшение медоносной базы будет детерминировать быструю деградацию растительного покрова из-за плохого опыления, снижения качества и урожая семян медоносных растений, развития процесса опустынивания.

Таким образом, как видно на рассмотренном примере, **хронобиологический анализ позволяет статистически достоверно выяснить временной ход изменений важнейших характеристик медоносной**

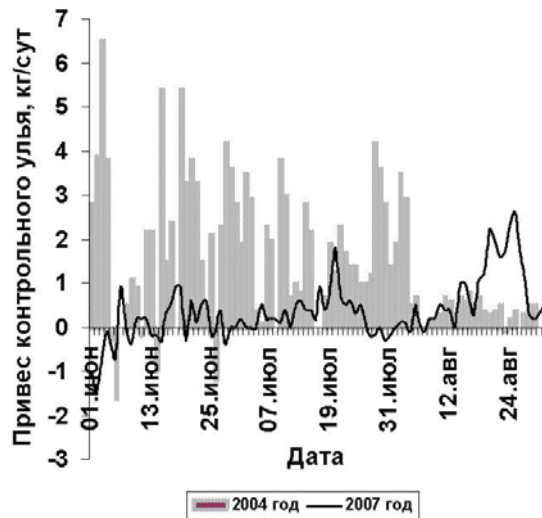


Рис.23. Трансформация типа медосбора с 2004г по 2007 г.

базы за любой конкретный период лет, когда меняется режим среды обитания. Дает возможность оценить дифференциацию работы каждой медоносной базы в конкретном периоде жизни и осуществлять интерполяционный прогноз возможного хода ее трансформации на промежуточные ситуации в ординированной сети ключевых объектов. Эти задачи удастся решать для любого пункта, где имеются преемственные, многолетние достоверные результаты наблюдений за медосбором. И сделать это можно даже тогда, когда видимого сокращения ареалов, исчезновения видов растений и т.п. еще не происходит. Вся полученная при хронобиологическом анализе информация будет чрезвычайно ценна для природопользования в новых климатических условиях. В прикладном же аспекте результаты могут быть использованы как научная основа для прогнозирования и планирования работ по медосбору, разработке рациональной системы природопользования и мероприятий для сохранения биологической устойчивости растительных систем.

Вместе с тем полученные результаты статистически достоверно свидетельствуют о том, что в изученный период изменения климата **кризисные изменения медоносной базы и процесса опыления растений уже начались. Они идут очень быстрыми темпами.** Эти изменения являются итогом влияния широкого спектра процессов адаптации растений в новых условиях среды. И в биоценотическом аспекте они могут весьма существенно и необратимо разрушить сложившиеся консортивные отношения между растениям и опыляющими их насекомыми. Наглядно убедиться в этом позволяют также выполненные на том же объекте наблюдения за динамикой изменения силы пчелосемей.

Как известно, сила семей пчел обеспечивается имеющимся количеством расплода, дающего молодых пчел-работниц. Одна рамка печатного расплода пчел в улье системы Дадан содержит до 5000 особей. С учетом этого на рисунке 24 показана изученная динамика пополняющего силу семей количества соторамок расплода в одной семье. Материалы рисунка фиксируют очень большие различия силы семей формирующихся в годы с богатым (2004г) и бедным (2007г) медосбором. Становится ясно, что сила семей существенно зависит от величины медосбора. Например, в урожайный год семья пчел весной накапливает до 16-ти соторамок расплода, из которого выйдут 80000шт пчел-работниц. А в низкоурожайный год за тот же период в ней имеется на 20000шт пчел меньше. Эта диспропорция в силе семей сохраняется в течение всего периода медосбора, а во время главного медосбора (начале июля), различия в силе семей достигают даже 35000 особей пчел.

Как видим, при кризисном состоянии медоносной базы налицо и вызванное этим резкое ослабление численности насекомых обеспечивающих опыление растений. При этом большинство семей насекомых – опылителей не могут создать достаточный запас меда для своей успешной перезимовки. В результате их семьи слабеют, подвергаются болезням и чаще всего погибают. Конечно, опыление растений обеспечивают не только одни пчелы, но и многие другие виды насекомых. Но на нашем примере можно убедиться в вероятности низких перспектив и их выживания.

А в итоге таких процессов неизбежно возникают еще более глубокие перекосы в функционировании консортивных связей биоценозов. И они не могут быстро исправиться даже в те ставшие редкими урожайные годы, которые еще случаются последнее время. **При углублении же кризисного состояния медоносной базы, кризиса опыления растений и связанного с этим кризиса репродукции растений и насекомых становится неизбежным разрушение структуры, продуктивности и биологической устойчивости биоценозов в целом.**

Из проведенного выше анализа становится ясно, что **трансформация климата Земли изменит не только общую продуктивность, но и внутреннюю структуру медоносной базы.** Как это может происходить, мы увидим на результатах дальнейшего анализа нашего объекта.

Для решения такой задачи была использована та же методологическая основа и методы, с помощью которых выполнялся хронобиологический анализ общей продуктивности медоносной базы. Но целью хронобиологического анализа была уже не вся медоносная база, а составляющие ее отдельные виды медоносных растений. В этой связи **совокупность особенностей каждого изучаемого вида медоносного растения рассматривалась как процессуальная растительная система, медосбор с которой**

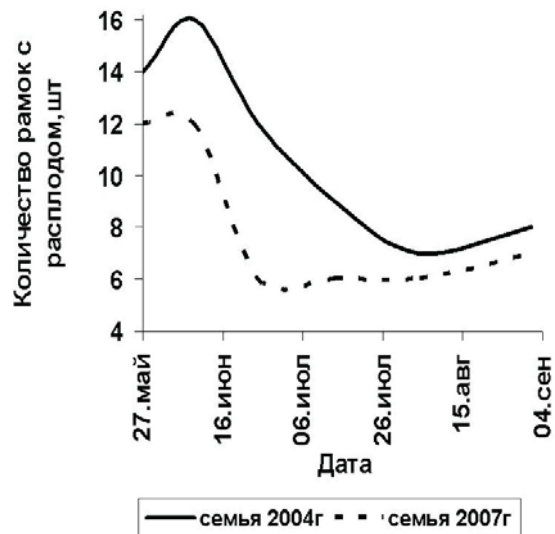


Рис. 24. Динамика изменения числа сотрамок с расплодом у пчелосемей формирующихся в годы с богатым (2004) и бедным (2007) медосбором

имеет определенную последовательность состояний во времени. **Входом** в такую процессуальную систему являлся период ее жизни, т.е. **временной интервал лет, в течение которого эта система функционировала** (в нашем примере – с 1994г по 2008г). Соответственно, – **состояниями периода жизни изучаемого вида растений являлись охваченные исследованиями конкретные годы наблюдений**. Изучая связь между продуктивностью медосбора с каждого конкретного вида растений и периодом их жизни, можно получать сведения о временном ходе изменения и степени уязвимости данного показателя в период трансформации климата.

В качестве характеристики продуктивности медоносов **учитывалось число дней в году, когда медосбор у контрольной семьи пчел был больше 1 кг/сут.** Такой методический прием позволил оценить продуктивность медосбора именно на биоценотическом уровне, т.е. как результата взаимодействия конкретного вида растений и насекомых – их опылителей.

При статистической обработке материалов хронобиологического анализа исследовались корреляционные отношения и регрессии, характеризующие связь между длительностью продуктивного медосбора с медоносных видов растений и периодом их жизни. Оценивалась теснота этих связей и рассчитывались линии регрессии, отражающие временной ход усредненного изменения показателей медоносной базы за изученный период изменения климата. Затем в соответствии с алгоритмом методики представленной во второй главе строились графики линий регрессии изучаемых характеристик медоносной базы, которые показывали временной ход усредненного течения функции (медопродуктивности растений) при равномерном увеличении аргумента (лет наблюдений). Выполненный таким путем хронобиологический **анализ позволил объяснить характер количественных изменений внутренней структуры медоносной базы во время развития ее кризиса.**

Основные закономерности дифференциации структуры кризисной медоносной базы Южного Прибалхашья здесь будут рассмотрены на примере четырех видов растений, поведение которых позволит увидеть спектр главных стратегий медоносов. Эти виды представлены чингиллом серебристым (*Halimodendron halodendron* (Pall.) Woss.), кендырем ланцетолистным (*Apocynum lancifolium* Russan), верблюжьей колючкой (*Alhagi kirghisorum* Schrenk) и соsscюреей солончаковой (*Saussurea salsa* (Pall.) Spreng.). Чингил – кустарник 2-х и более метров высоты. Обычно **цветет в мае**. Считается лучшим весенним медоносом. Кендырь – мно-

голетник около 2м высоты, раннелетний высокопродуктивный медонос. Формирует обширные заросли в дельте р. Или. Цветет в июне – июле, но продуктивный **медосбор дает в июне**. Верблюжья колючка – многолетник 40-100см высоты. В дельте реки Или повсеместно произрастает обширными зарослями. **Цветет** во второй половине **июня-июле**. Выделяет нектар во время главного медосбора, в самый жаркий период лета. Также считается ценным, высокопродуктивным медоносом. Наконец, соссурея солончаковая (горькуша) – многолетник, до 50см высоты, **цветет в августе – сентябре**.

Выяснилось, что связь длительности продуктивного медосбора с изученным периодом наблюдений у чингила серебристого, верблюжьей колючки и соссуреи солончаковой статистически значима, очень тесная и близка к функциональной. Рассчитанные корреляционные отношения и их ошибки оказалось следующими: для чингила серебристого – $\eta_{yx}=0,7178\pm0,1931$ ($t_{\text{факт}}=3,72$; $t_{01\text{табл}}=3,01$); верблюжьей колючки – $\eta_{yx}=0,8679\pm0,1756$ ($t_{\text{факт}}=4,94$; $t_{01\text{табл}}=3,36$); соссуреи солончаковой – $\eta_{yx}=0,7735\pm0,2004$ ($t_{\text{факт}}=3,86$; $t_{01\text{табл}}=3,17$). То есть средние числовые оценки тесноты установленной связи для наших объектов соответствуют от 71,8% до 86% от полной неразрывной связи. Для всех этих видов растений нулевая гипотеза об отсутствии связи отвергается на 1%-ном уровне значимости, т.к. критерий Стьюдента $t_{\text{факт}} > t_{01\text{табл}}$. Такие **характеристики установленных связей с вероятностью 99% свидетельствуют об очень высокой, близкой к функциональной степени уязвимости нектаровыделения медоносов в изученный период изменения климата.**

Однако для кендыря ланцетолистного данная связь оказалась слабой и статистически недостоверной (корреляционное отношение $\eta_{yx}=0,4875\pm0,2911$). Здесь нулевая гипотеза об отсутствии связи (H_0) не отрицается с вероятностью 95%, т.к. фактическое значение критерия Стьюдента $t_{\text{факт}}=1,67$ меньше табличного $t_{0,5\text{табл}}=2,26$. Следовательно, **в анализируемый период времени продуктивность кендыря еще слабо реагировала на происходящие изменения условий обитания. Уязвимость его нектаровыделения оказалась несущественной.** Однако уместно напомнить, что и это медоносное растение тоже не оставалось «бесчувственным» участником происходящих событий. Как было показано во втором разделе данной главы, с 1995 по 2007 гг. дата начала цветения кендыря сместилась в более раннюю сторону на 20 дней. Притом **степень уязвимости начала цветения этого вида близка к функциональной.** Об этом свидетельствует и корреляционное отношение между

датой начала цветения и изученным периодом изменения климата, которое оказалось равным $0,79 \pm 0,17$ (см. раздел 3.2).

На основании выполненного дальнейшего анализа временной ход изменений медосбора с чингила, верблюжьей колючки и соссюреи можно проиллюстрировать графиками линий регрессии (рис. 25). На них линии регрессии отражают усредненное течение функции (числа дней в году с медосбором семьи пчел более 1 кг/сут) при равномерном увеличении аргумента (лет наблюдений). Представленные на рис. 25 линии регрессии свидетельствуют о том, что **при развитии кризиса медоносной базы на одном участке территории и в один и тот же период времени медоносные растения проявляют себя совершенно по-разному.**

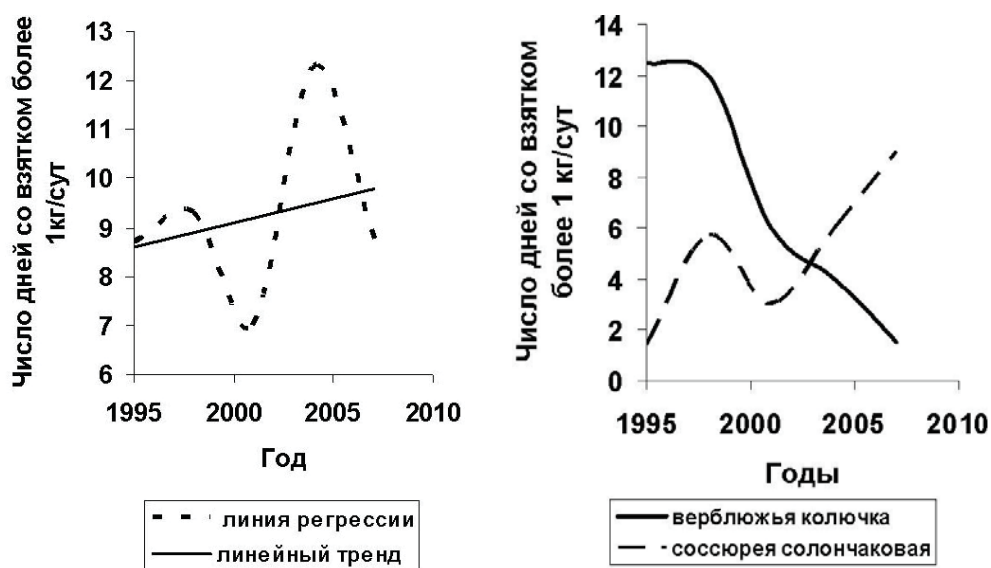


Рис.25. Линии регрессии, иллюстрирующие временной ход медосбора с чингила серебристого (слева), верблюжьей колючки и соссюреи солончаковой (справа)

У цветущего весной (в мае) чингила серебристого имели место очень значительные колебания длительности продуктивного медосбора: депрессия к 2002г и подъем к 2004 году (см. рис.25). Но в целом, как свидетельствует о том линейный тренд, можно констатировать наличие общей **тенденции роста продуктивности растений этого вида.**

У раннелетнего (июнь) медоноса **кендыря ланцетолистного** длительность продуктивного медосбора оказалась **относительно стабиль-**

ной. Число дней со взятком более 1 кг/сут в период его нектаровыделения поддерживалось на уровне $11,9 \pm 0,3$ дней в год.

Длительность продуктивного медосбора с **верблюжьей колючки** в начале изученного периода была высокой – более 12 дней в году. Но затем она настолько глубоко трансформировалась, что к концу изученного периода **снизилось до значений близких к нулю** (см. рис. 25). В результате из-за недостаточного опыления в последние годы у верблюжьей колючки продуцировалось лишь незначительное количество семян. Ее возобновление теперь в основном идет вегетативным путем и частично за счет почвенного запаса семян урожаев прошлых лет (Проскуряков, 2002а, 2002б, 2003, 2005, 2006, 2007а, 2007б). **Налицо развитие кризиса нектаровыделения и репродукции данного вида.** И если так будет продолжаться дальше, то **он может исчезнуть**. Ведь его перекрестное опыление прекратилось. А вследствие этого стала недоступной рекомбинация генотипа для приспособления к новому климатическому режиму. Данный вид нередко доминирует в растительных сообществах обширных территорий Казахстана и многих других стран Средней Азии. Поэтому в дальнейших исследованиях ему целесообразно уделить особое внимание как весьма информативному индикаторному объекту.

Однако у осеннего медоноса **сосюреи солончаковой** **длительность продуктивного нектаровыделения значительно возросла.** Несмотря на временную депрессию (с 1997г. по 2002г.) у этого растения число дней с медосбором более 1 кг/сут **увеличилось шестикратно:** от 1,5 дней в начале до 9 дней в год в конце периода наблюдений (см. рис.25).

Наряду с проиллюстрированными выше закономерностями необходимо отметить еще одну важную особенность, которую позволил установить хронобиологический анализ. Выяснилось, что независимо от жизненной формы и видовой принадлежности изученных растений линии регрессии временного хода продуктивности их нектаровыделения показали сильное смещение по причине отклонения данных наблюдений 2002-го года. Факты такого смещения удалось обнаружить не только при анализе данных на видовом уровне, но и для рассмотренных в начале раздела интегральных оценок продуктивности нектаровыделения всей представленной 24-мя видами совокупности энтомофильных растений, формирующих медоносную базу региона Южного Прибалхашья.

Таким образом, трансформация медоносной базы, как целостного явления, в период развития кризиса отражает итог разнонаправ-

ленных процессов у участвующих видов медоносных растений. И здесь все идет, как в той народной поговорке: «кому – война, а кому – мать родна». Для одних медоносов новый климатический режим оказывается благоприятным. В результате этого они существенно увеличивают продуктивность. Другие – слабо реагируют на происходящие изменения среды обитания. В дальнейшем обе эти группы видов могут стать преобладающими. В то же время **виды растений, утрачивающие свое нектаровыделение, свои биотические связи и тем самым возможность успешного опыления, постепенно исчезнут. Их существование станет невозможным из-за отсутствия опыления и развития кризиса репродукции.** Тогда **возникнет совершенно новая структура биоценоза, которой в данной местности никогда не было.**

В общем же итоге выполненный количественный анализ консортивных связей позволяет статистически достоверно констатировать, что **в изученном регионе имеет место начало развития кризиса исторически сложившегося растительного покрова.** И в дальнейшем нужно ожидать постепенного смещения природных растительных систем в другие, климатически более благоприятные широты.

Полученные результаты исследований убеждают нас в том, что хронобиологический анализ позволяет уверенно и с высокой точностью установить начало кризиса репродукции любого конкретного вида медоносного растения. С высокой достоверностью удастся выяснить временной ход изменений продуктивности каждого медоноса и, соответственно, дифференциации внутренней структуры медоносной базы за любой конкретный период лет, когда меняется режим среды обитания. Появляется возможность дифференцировать основные типы адаптационной стратегии медоносных видов растений в пределах изученных периодов жизни. Можно понять и оценить ресурсную перспективность составляющих медоносную базу конкретных видов медоносных растений в конкретном периоде жизни и осуществлять интерполяционный прогноз трансформации их жизнеспособности и свойств в ситуациях промежуточных между ординированными ключевыми объектами растительных систем.

Рассмотренные выше результаты исследований позволяют убедиться, что во время начавшейся трансформации климата в процессах репродукции энтомофильных растений уже происходят важные изменения и притом очень быстрыми темпами. Но ведь большинство медоносов являются доминантами растительного покрова. Служат

кормовой базой не только для насекомых и других диких животных, но и скотоводства. Имеют водоохранное, водорегулирующее и рекреационное значение. А потому перемена климата угрожает также жизни и благополучию людей, экологической безопасности стран в целом. В этой связи важно, что хронобиологический анализ внутренней структуры медоносной базы помогает сориентироваться в экономической и социальной значимости происходящих изменений. Позволяет быть готовым ослабить вредные природные, хозяйственные и социальные последствия кризисной трансформации растительных систем. **Дает возможность проектировать восстановление медопродуктивности и биологической устойчивости растительного покрова путем подбора и интродукции новых видов ценных медоносов, замещающих неперспективные в освобождающихся экологических нишах. Становится реальным определить направление дрейфа медоносной базы и структуры растительных сообществ под влиянием изменения климата.** Решить эти задачи можно для любого пункта, где имеются преемственные, многолетние достоверные результаты наблюдений за нектаровыделением. Притом без специальных дорогостоящих метеорологических наблюдений. И сделать это можно даже тогда, когда видимого сокращения ареалов, исчезновения видов растений еще не происходит. Все эти результаты будут нужны как научная основа для понимания путей не только краткосрочной, но и длиннопериодной трансформации структуры медоносной базы и растительного покрова в целом, а также **для разработки рациональной системы природопользования в новых экологических условиях.**

В свете сказанного одно из первоочередных мест должна занять проблема мониторинга нектаровыделения для прогнозирования трансформации медоносной базы и растительного покрова Земли под влиянием глобальных изменений климата. Решение этой проблемы позволит **предвидеть и ослаблять последствия катастрофической (вплоть до опустынивания) трансформации растительного покрова и среды обитания человека.** Причем на самом раннем этапе – репродукции растений. Для обработки же материалов наблюдений, как можно было убедиться, целесообразно воспользоваться предложенной выше научно-методической основой хронобиологического анализа на фитоценоотическом и биоценоотическом уровнях.

Заключение.

Накопленный опыт хронобиологического анализа поведения растений во время глобального изменения климата позволил выяснить, что его применение на разработанной методологической основе дает возможность получать числовые оценки, которые объективно, статистически достоверно и притом количественно характеризуют уязвимость растительных систем в широком диапазоне их изменчивости.

Такая количественная оценка степени уязвимости объективно отражается величиной корреляционного отношения и построенными линиями регрессии характеризующими временную динамику изменения характеристик растительных систем, числовыми оценками скорости изменения характеристик изучаемых показателей растительных систем и числовыми оценками величины их смещения за изучаемые периоды жизни растительных систем. При этом на основе установленных величин корреляционных отношений и построенных линий регрессии удастся количественно исследовать степень близости уязвимости каждого наблюдаемого показателя к функциональной зависимости. Можно определить статистическую достоверность временных изменений конкретно по каждому изучаемому показателю. А поскольку в процессе исследований соблюдается принцип единственного различия (климата), то полученные результаты хронобиологического анализа отражают детерминирующее влияние меняющихся состояний совокупности климатогенных факторов за любой изученный период их действия. Важным преимуществом такого хронобиологического анализа является и то, что необходимая оценка может быть получена для любого пункта, даже если метеонаблюдения там никогда не проводились.

Все результаты выполненных выше хронобиологических исследований статистически достоверно свидетельствуют о том, что в изучаемый период глобального изменения климата уже происходят закономерные, интенсивные и очень важные для растений процессы изменения их жизнеспособности. Эти процессы существенно влияют на их репродукцию, рост, развитие, биологическую продуктивность и важнейшие биотические связи. По всем этим направлениям исследований с помощью хронобиологического анализа удастся обнаружить очень высокую уязвимость растений, которая нередко близка к функциональной.

Хронобиологический анализ растительных систем с помощью разработанной научно-методологической основы позволил выяснить, что детерминируемая в период изменения климата **трансформация уязвимых показателей жизнеспособности растений происходит, как правило, очень быстро и на весьма значительную величину**. Становится ясно, что эти изменения приведут к уязвимости репродукции растений и, как следствие, - к **уменьшению биологической устойчивости растительных сообществ, вплоть до их полного исчезновения и опустынивания местности**. В методологическом аспекте выявленные закономерности важно учитывать как научную основу при разработке методов мониторинга и прогнозирования последствий глобальных изменений климата местности. Их надо знать для определения критических пороговых значений режимов, при которых будут происходить необратимые изменения растительного покрова. Появляется возможность дифференцировать основные типы адаптационной стратегии видов растений в пределах изученных периодов жизни. Можно понять и оценить ресурсную перспективность составляющих растительные системы конкретных видов растений в каждом конкретном периоде жизни и прогнозировать ход трансформации их жизнеспособности и свойств путем интерполяции данных для промежуточных между изученными экологических ситуаций.

Как было установлено в результате хронобиологического анализа, динамика происходящих у растений процессов обычно имеет нелинейный характер, что отражает неравномерность трансформации среды обитания растений. Притом в период изменения климата процессы изменения уязвимых показателей жизнеспособности у разных видов растений идут в разных направлениях. Для одних видов растений их высокая уязвимость способствует улучшению качества жизни, росту биологической продуктивности, стимулирует репродукцию, корректирует их биотические связи в благоприятную сторону. Но, в то же самое время, для других видов, как следствие их высокой уязвимости, фиксируется ухудшение всех показателей жизнеспособности, снижение биологической продуктивности, угнетение репродуктивных процессов, биотических связей и падение обусловленной всем этим биологической устойчивости растений.

Вместе с тем, материалы рассмотренных в данной главе хронобиологических исследований позволяют прийти к заключению, что **помимо общей тенденции** обусловленной глобальным изменением климата, **смещение характеристик растительных систем в данный период**

может корректироваться влиянием еще двух групп факторов, присутствие и действие которых также удастся обнаружить благодаря чувствительности хронобиологического анализа. С одной стороны, – оно может корректироваться влиянием **местного, избирательно действующего экстремального режима лимитирующих факторов**, который в некоторых случаях **оказывает длительно устойчивое воздействие, затушевывающее глобальную картину**. С другой, – оно может корректироваться влиянием такой **группы факторов нерегионального значения, которые вносят точечные, но очень мощные коррективы асинхронные с действием всех других факторов** периода изменения климата.

Создающее **эффект затушевывания асинхронное с глобальной тенденцией действие местных экстремальных лимитирующих факторов** удалось проследить на нескольких видах растений и интерпретировать на примере верблюжьей колючки с помощью материалов многолетних метеонаблюдений за режимом сверхвысоких температур (см. раздел 3.2). Закономерное же действие второй группы факторов подтверждается всею совокупностью материалов выполненного выше анализа у растений, обитающих как в условиях степи предгорных равнин и пояса плодовых лесов Северного Тянь-Шаня, так и в условиях тугайных и пустынных территорий Южного Прибалхашья. **Действие этой группы факторов устойчиво проявилось в форме «возмущения» в поведении исследованных растений в 2002 году.**

Данные 2002-го года – это всего лишь одна «точка» в пределах корреляционного поля результатов 15-ти летних наблюдений за период 1994-2008 гг. Но действие этой «точки» произвело исключительно сильные и разновекторные изменения временного хода характеристик у большинства изученных растительных объектов. А в отношении синхронности времени наступления таких изменений не наблюдалось ни до, ни после 2002-ого года за весь период исследований выполненных с 1994 по 2008гг. **Факты «возмущения» поведения растений в 2002-ом году имели место для самых разных характеристик большинства изученных показателей растительных систем.** Это проявлялось, например, в соответствующих данному году изгибах линий регрессии даты начала цветения растений. Причем смещение линии регрессии имело место у растений цветущих как ранней весной, летом, так и поздней осенью. Оно наблюдалось **у растений представляющих весь диапазон разнообразия жизненных форм:** трав, лиан, кустарников, деревьев. Такое «возмущение» проявилось **и у интродуцированных инорайон-**

ных видов растений. Оно выразилось в том, что линии регрессии отражающие временной ход изменения изученных характеристик (высоты растений, массы 1000 семян, даты начала цветения, продолжительности периода развития генеративных органов) у интродуцированных видов также показали сильное смещение по причине отклонения данных наблюдений именно 2002-го года. Наконец, независимо от жизненной формы и видовой принадлежности изученных растений линии регрессии временного хода продуктивности их нектаровыделения также показали сильное смещение по причине отклонения данных наблюдений 2002-го года. Притом факты такого смещения удалось обнаружить не только при анализе характеристик биотических показателей на видовом уровне, но и для интегральных оценок продуктивности нектаровыделения всей представленной 24-мя видами совокупности растений, формирующих медоносную базу региона Южного Прибалхашья.

Величина смещения и направление изгиба линий регрессии для каждой изучаемой характеристики растительных систем оказались различными. А центр смещения линий регрессии на графиках нередко оказывался немного сдвинутым относительно 2002 года, что имело место по причине построения графиков на основе средних значений зафиксированных сгруппированных исходных данных. Однако сам **факт обнаружения роли 2002 года при хронобиологических исследованиях подтверждает, с одной стороны, высокую чувствительность хронобиологического анализа, а с другой,- вероятность весьма интенсивного, но точечного действия причин не связанных с режимом постепенного глобального изменения климата.**

Каких-либо земных причин, детерминирующих столь дружное смещение временного хода изменения самых разных характеристик растительных систем, найти пока не представилось возможным. Сложность решения этой задачи состоит в том, что все эти факты удалось установить для самых разных видов растений и их жизненных форм. Причем в очень широком диапазоне климатических условий их обитания. В масштабе географически крупного экологического полигона простирающегося от предгорных степей и пояса плодовых лесов Северного Тянь-Шаня до тугайных и пустынных территорий Южного Прибалхашья. Отклонение линий регрессии под влиянием 2002-ого года имело место даже при наличии отмеченного выше затушевывающего генеральные закономерности влияния экстремального температурного режима местности и притом в период, когда по многолетним наблюдениям Казгидромета (и материалов метеонаблюдений для всей территории Земли) по-

всеместно преобладает тренд постепенного изменения климатического режима.

В свете насущной необходимости дальнейшего поиска причин указанных выше особенностей смещения динамики характеристик растительных систем в 2002-ом году здесь будет уместно напомнить результаты исследований основоположника космической биологии А.Л.Чижевского. Он доказал, что все живущие на нашей планете организмы есть «существа не только земные, но и космические, связанные всей своей биологией, всеми молекулами, всеми частицами своих тел с космосом, с его лучами, потоками и полями» (Чижевский, 1976:331). И потому, как представляется, исследования именно в этом направлении вероятнее всего помогут выяснить причины наблюдаемого необычного, точечного, но сильного смещения временного хода изученных характеристик растительных систем.

В целом разработанная методологическая основа хронобиологического анализа позволит объективно исследовать не только перечисленные выше показатели жизнеспособности растений, их биологическую продуктивность, биотические связи. С ее помощью можно будет исследовать динамику и многих других важнейших характеристик растений: морфологических, физиологических, биохимических параметров, а также хозяйственно ценных свойств получаемой от растений продукции, биохимические характеристики их сырья, содержание лекарственных веществ, технические свойства растительной продукции и многое другое (Проскураков, 2009в). Вся эта информация будет чрезвычайно ценна для разработки и применения стратегии управления растительным покровом, его реставрации и природопользования в новых климатических условиях. **Результаты хронобиологического анализа растительных систем будут нужны как научная основа для понимания путей не только краткосрочной, поэтапно отражающей влияние погодных условий, но и длиннопериодной (климатической) трансформации структуры растительного покрова в целом, а также для разработки рациональной системы природопользования в новых экологических условиях.**

Проиллюстрированные материалами данной главы изменения в поведении растений пока еще идут скрытно для глаз простого наблюдателя. Но этим уже интенсивно подготавливаются коренные преобразования биологической продуктивности растительных систем, их структуры, биоразнообразия, ресурсных потенциалов, значения как объектов природопользования, а также экологических, защитно-охранных, рекреацион-

ных и многих других функций растительных систем. В том числе – и роли растительных систем как объектов местообитания и питания приспособившихся к ним животных и микроорганизмов.

Совершенно очевидно, что фиксируемые при хронобиологическом анализе изменения характеристик растительных систем детерминируются многими факторами, которые пока остаются за пределами поля зрения исследователей. Но материалы хронобиологического анализа тем и ценны, что позволяют при сравнительно небольших затратах, и притом на количественном уровне, достоверно выявить уязвимость, основные направления, характер, скорость и величину изменений важнейших показателей растительных систем. И в данной связи они послужат исследователям как путеводный луч света, который позволит уже более уверенно планировать и выполнять углубленное изучение причин происходящих изменений. Дадут возможность совершенствовать методику дальнейших исследований. Помогут лучше ориентироваться в дифференцировании подвижных, лабильных и наиболее информативных признаков, в характере их изменчивости и норме реакции на разных уровнях организации растительных систем. Позволят определить реактивность и чувствительность системообразующих компонентов растительных ассоциаций, индикаторных представителей растительной системы. Обнаружат такие сдвиги характеристик растительных систем, которые окажутся существенными, угрожают выживаемости растительных систем, превышают уровень их адаптационной способности и свидетельствуют об их высокой чувствительности и уязвимости. Дадут возможность оценивать стабильность или уязвимость каждой растительной системы в динамике ее развития. И, хотя результаты хронобиологического анализа не могут в исчерпывающей мере раскрыть биологическую суть происходящих процессов, с его помощью удастся выяснить направление изменений устойчивости и уязвимости показателей растительных систем, получить основу для всестороннего и углубленного изучения реактивности растительных систем на изменение климата и принятия действенных мер по предотвращению их разрушения.

Материалы данной главы и опыт исследований доказывают возможность применения предложенной методологической основы хронобиологического анализа в широком диапазоне объектов исследований. При этом она позволит решать следующие задачи.

1. Статистически достоверно обрабатывать крупные массивы информации для широкого спектра показателей жизнеспособности растительных систем и формируемых ими биоценозов и **на этой основе за любой**

период изменения климата получать числовые оценки степени их уязвимости, числовые оценки величины смещения и скорости изменения характеристик показателей растительных систем.

2. Для каждого местообитания растений получать наглядное графическое изображение линий регрессии, а также их аналитические формулы, которые будут характеризовать **количественную динамику изменения показателей жизнеспособности растений и биоценозов в целом, направление, время начала и ход этого процесса, а также величину происшедших изменений, как поэтапно, так и за весь срок наблюдений.**

3. На основе корреляционного и регрессионного анализа уязвимости растительных систем **дифференцировать основные типы адаптационной стратегии растений и формируемых с их участием биоценозов.** Выяснять характер процесса хронобиологических изменений и его значение для адаптации растительных систем и формируемых ими биоценозов в трансформирующихся климатических условиях. Оценивать перспективность исследуемых видов растений в конкретном периоде жизни и выполнять интерполяционный прогноз трансформации их жизнеспособности и свойств в пределах ординированной сети ключевых объектов растительных систем.

4. Статистически достоверно и с высокой точностью устанавливать начало кризисных явлений в растительных системах. Путем хронобиологического анализа числовых характеристик биотических связей и показателей жизнеспособности растений **отслеживать развитие кризиса исторически сложившихся растительных систем.** Выяснять временной ход изменений кризисной дифференциации внутренней структуры растительных систем в любой конкретный период изменения климата.

5. **Определять направление дрейфа биологических характеристик растений и структуры растительных сообществ в период изменения климата.** Решать эти задачи для любого пункта, где имеются преемственные, многолетние достоверные результаты наблюдений за растениями. Притом без специальных дорогостоящих метеорологических наблюдений. И делать это даже тогда, когда видимого сокращения ареалов, исчезновения видов растений и т.п. еще не происходит.

6. **Пополнять научную основу для управления растительными системами, что позволит ослабить вредные последствия их изменений в период глобального потепления или похолодания.** Притом решать такую задачу для любого местообитания, где имеются преемственные,

многолетние достоверные результаты наблюдений за поведением растений, даже при отсутствии материалов метеонаблюдений за изменением климата.

7. Получать объективные результаты при исследовании адаптации растений интродуцируемых в новые регионы. При этом хронобиологический анализ приобретает самостоятельное значение как важнейший методический прием интродукционных испытаний растений, дающий научную основу для принятия экспертного заключения о перспективности интродуцируемых растений.

8. Подготовиться к трансформации растительного покрова и его последствиям, как в природных условиях, так и в культуре. Тем самым **получить возможность ориентироваться в экономической и социальной значимости изменений растительных систем в период глобального потепления**. И на этой основе ослаблять вредные природные, хозяйственные и социальные последствия кризисной трансформации растительных систем.

Хронобиологический анализ показателей жизнеспособности как интродуцированных, так и аборигенных видов растений позволит подготовиться к трансформации растительного покрова и его последствиям тогда, когда видимых признаков (сокращения ареалов, исчезновения видов растений и т.п.) еще не происходит. На выходе рассматриваемой процессуальной системы можно исследовать не только показатели жизнеспособности растений, биологическую продуктивность, но и биохимические характеристики их сырья, содержание лекарственных веществ, технические свойства растительной продукции и многое другое. Вся эта информация будет чрезвычайно ценна для разработки и применения стратегии управления растительным покровом, его реставрации и природопользования в новых климатических условиях. Промедление же с началом хронобиологических исследований будет означать навсегда потерянные возможности вовремя увидеть и понять происходящие в природе изменения.

ГЛАВА 4. **ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА НА ПЛАКОРАХ**

Как было показано в первой и третьей главах книги, меняющийся климат детерминирует коренные изменения в жизни растений. И они уже происходят. Очень быстро. Но пока еще в скрытой форме – на физиологическом, биохимическом, фенологическом, консортивном уровнях. На уровне естественного отбора наиболее приспособленных видов или их форм. На уровне изменения прироста биомассы и прочих характеристик растительных систем. С дальнейшим развитием трансформации климата нужно ожидать существенного, лавинообразного нарастания интенсивности всех направлений изменений растительного покрова. Эти изменения станут происходить на всей территории Земли. Связанное с ними грядущее преобразование структуры растительного покрова будет неизбежно сопряжено с крупными потерями его продуктивности, утратой накопленного миллионами лет эволюции исключительно богатого генофонда растений, деградацией биоразнообразия растительного покрова в целом. И еще неизвестно, какой окажется дальнейшая жизнь у тех видов растений, которые пока не испытывают угнетения. Притом в период меняющегося климата трансформация растительного покрова будет регулироваться очень сложным совокупным эффектом влияния многих причин.

Становится ясно, что **тотальный подход к исследованию всего необходимого комплекса характеристик жизнеспособности растений на каждом участке огромной территории Земли совершенно нереален** из-за его большой дороговизны. Ведь здесь потребуются специальные лаборатории, дорогостоящее оборудование, высококвалифицированные специалисты, большие финансовые затраты. И все это – на очень длительные сроки. На весь грядущий период изменения климата. Такую работу можно выполнить лишь на минимальной, но хорошо оснащенной сети специально созданных стационаров, **репрезентативной для ключевых объектов растительного покрова**. И в данной связи **нужно учитывать ряд следующих особенностей в направлениях и организации работы рациональной сети стационарных центров хронобиологических исследований**.

Прежде всего, - это то, что доминанты растительного покрова любого конкретного региона адаптированы именно к средним, чаще всего повторяющимся погодным режимам ранее сложившегося климата местности (см. рис.1 и его анализ). В результате на каждом участке территории

емкость занимаемой доминантами экологической ниши тесно связана с климатическим фоном местности. Данная закономерность является общей и именно потому она была положена в основу создания всех существующих классификаций растительности. Пока климат еще оставался относительно стабильным, емкость экологических ниш доминантов растительного покрова имела определенную устойчивость во времени. Но с изменением климата, которое происходит уже около 40 лет (рис.1Б), емкость занимаемых растениями экологических ниш начала меняться. Отсюда следует, что **сеть будущих стационаров хронобиологического мониторинга растительных систем должна отслеживать климатогенные изменения емкости экологических ниш доминантов растительного покрова.**

К числу следующих особенностей относится внутривидовое разнообразие растений. Ведь состав внутривидовых форм в структуре ценопопуляций, а также проявление генетически обусловленных свойств растений очень тесно связаны с климатическим режимом местности. В самых благоприятных климатических условиях присутствует наиболее разнообразный состав внутривидовых форм, а их биологическая продуктивность – наивысшая. По мере ухудшения климатических условий сокращается внутривидовое разнообразие и продуктивность растений. Эти закономерности также являются общими и потому широко учитываются в селекционной работе. Но при изменении климата произойдет мощная глобальная дифференциация всей генетической структуры растительных сообществ. Малоприспособленные к новым условиям внутривидовые формы будут отсеяны. И, как следствие, генофонд растительного покрова существенно обеднится. С обеднением генетической структуры ценопопуляций исчезнет и запас биологической устойчивости каждого вида растений, а вместе с этим и биологической устойчивости растительных систем формируемых с их участием. Следовательно, **сеть стационаров хронобиологического мониторинга растительных систем должна отслеживать изменения генофонда растительного покрова.**

Далее, – при изменении климата наиболее уязвимым звеном в жизни растений станет их репродукция. Ведь процессы естественного возобновления и формирования ценопопуляций наиболее жестко контролируются именно на ранних этапах репродукции: цветения, опыления, созревания и сохранности семян, а также на ювенильной стадии существования растений. Любое изменение климата – как в сторону потепления, так и похолодания, приведет к устойчивому изменению репродукции основных

ценозообразующих видов. Например, жаркая и сухая погода сокращает период роста и развития растений. В результате уменьшается количество закладываемых цветочных почек. Снижается успешность протекания фазы бутонизации и цветения. Задерживается наступление урожайных лет. Под действием вызванных потеплением климата высоких температур воздуха может прерваться нектаровыделение у насекомоопыляемых видов. Тогда прекращается оплодотворение семян, образование семян и, соответственно, семенное размножение. Становится невозможным процесс рекомбинации наследственных свойств и приспособления к новым климатическим условиям. Вместе с тем, при неблагоприятной перемене климата ухудшится режим сохранения почвенного запаса семян, за счет которого поддерживается возобновление растительных видов в годы с низким урожаем. Сократятся сроки жизнеспособности и энергия прорастания семян, а появляющиеся ювенильные особи естественного возобновления попадут в очень жесткие непривычные для них условия. Однако для определенных видов растений новые климатические условия могут оказать и благоприятное воздействие. Пока же ясно одно – при изменении климата непременно будет заново регулироваться весь процесс естественного возобновления доминантов и связанной с этим биологической устойчивости растительных систем в целом. Поэтому **сеть будущих стационаров хронобиологического мониторинга растительных систем должна отслеживать изменения процессов естественного возобновления доминантов растительного покрова.**

Все рассмотренные выше процессы жизни доминантов растительного покрова будут корректироваться и межвидовой конкуренцией, а также консортивными связями, которые станут развиваться на фоне новых климатических условий. Результаты этой корректировки предсказать пока не представляется возможным. Но уже есть достоверно установленные факты того, что с изменением климата значительно повышается вероятность возрастания активности патогенной флоры и фауны. Отмечаются и связанные с потеплением климата массовые размножения вредителей (Столяров, 1998, Гусева, 2004 и др.). Под их влиянием ослабленные неблагоприятным климатическим режимом и межвидовой конкуренцией растения еще быстрее станут терять свою жизнеспособность и продуктивность. Факты происходящего изменения консортивных связей в биоценозах были проиллюстрированы и на материалах исследований третьей главы книги.

Можно также предполагать, что наличие в растительных сообществах видов и форм растений, более приспособленных к крайним по-

годным условиям прежнего климата и более устойчивых к патогенным факторам, приведет к активному развитию процессов смены доминантов растительного покрова. Виды и формы, приспособленные к крайним погодным режимам прежнего климата, начнут занимать доминирующее положение, становиться основными ценозообразователями. Этот процесс, конечно, будет развиваться очень длительно. Притом такая смена растительного покрова, как правило, пойдет совсем не обязательно в оптимальном для человека направлении. Спонтанно. Неуправляемо. Неэффективно. В результате трудно предвидеть – чем и когда все закончится. Отсюда следует, что **сеть будущих стационаров хронобиологического мониторинга растительных систем должна отслеживать изменения биотических связей в растительном покрове.**

Но происходящие изменения климата могут привести к глубоким нарушениям ранее сложившихся межвидовых взаимодействий не только из-за разных требований к среде обитания участвующих игроков фитоценоотических битв. Не менее важным фактором регулирования флористического разнообразия на огромных пространствах великого переселения видов растений станет и **возрастной предел их жизни.** Ведь пока не освободится экологическая ниша, занимаемая тем или иным видом, другим растениям переселение будет затруднено. И потому, например, пока кедр, занимающий места своего поселения до 500 лет, освободит их, то береза, живущая 40-120 лет, не успеет их занять. К этому времени она уже будет уничтожена неблагоприятным надвигающимся новым режимом климата. Исчезнет и выработанный миллионами лет ее генофонд.

Сказанное важно еще дополнить мнением специалистов рабочей группы МГЭИК о значении скорости миграции растительных сообществ. По заключению экспертов МГЭИК **скорость миграции растительных сообществ** разных видов растений при ранее наблюдавшихся колебаниях климата обычно не превышала 200км в столетие. И такие колебания режима миграции не приводили к катастрофическим последствиям. Ранее существовавшие виды успевали самовосстанавливаться на новых территориях. Но ожидаемое в следующее столетие необычайно сильное потепление (в средних широтах до 3,5⁰ C) будет детерминировать перемещение существующих географических зон с одинаковыми температурами до 550км (по направлению к полюсам). При такой скорости могут исчезнуть многие прежние типы растительных систем, изменится их видовой состав и возникнут новые растительные системы (см. «Специальный доклад МГЭИК. Последствия изменения климата

для регионов: оценка уязвимости», 2011). Отсюда следует, что **сеть будущих стационаров хронобиологического мониторинга** должна отслеживать **временной ход смещения географических границ зональных растительных систем**.

Наконец, еще до начала видимого изменения границ, продуктивности, геоботанических и биоценотических характеристик растительного покрова будет иметь место целый ряд внутренних процессов, подготавливающих эти изменения. К числу важнейших из этих скрытых для глаза процессов нужно отнести изменения физиологических показателей у растений. В первую очередь, – фотосинтеза, дыхания, транспирации и т.д. Как было экспериментально доказано физиологами (Альтергот, 1965, 1981; Ахматов, 1976; Манойленко, 1988) под действием температурного фактора регулируется общая синтетическая способность растений, интенсивность фотосинтеза и дыхание. Определяется сопряженность окислительных и синтетических процессов, роста и развития растений, изменяется их иммунитет. В новых климатических условиях изменится также регуляция биохимических характеристик растений, и, как следствие, – полезные качества сырьевой базы растениеводства (см. материалы главы 1). По этим причинам в изменившемся климате уже не будут сохранены полезные свойства растительного сырья в том объеме, который мы пока имеем. В данной связи **сеть будущих стационаров хронобиологического мониторинга растительных систем** должна **отслеживать временной ход происходящих изменений физиологических и биохимических процессов у растений**.

Рассмотренный выше краткий перечень всех бед готовых свалиться на нас при изменении климата ни в коей мере не претендует на исчерпывающую полноту, даже если он будет дополнен с учетом других материалов первой главы книги. Однако становится ясно, что **эффективная и экономичная работа необходимой сети хронобиологических стационаров возможна только при условии ее организации как системы, позволяющей интерполировать полученные результаты хронобиологического анализа на весь охваченный наблюдениями экологический полигон**. Поэтому **исследовательские стационары должны быть ординированы с учетом имеющих место закономерностей биологического разнообразия и продуктивности растительного покрова**.

Но занимаемые растениями просторы суши огромны. И на них расположены государства разных народов, с разной экономикой, культурой, менталитетом, разными размерами территорий. Отсюда **в аспекте надвигающейся возможной катастрофы растительного покрова**

найти спасение можно только объединенными усилиями. Именно на этой основе и как можно скорее должен быть организован мониторинг растительного покрова и хронобиологический анализ его материалов.

Однако даже и при объединении усилий заинтересованных стран решение проблемы потребует немалых затрат. Ведь понадобится **мониторинг и хронобиологический анализ очень широкого спектра показателей жизнеспособности многих видов растений. Выполнять его придется стационарно, на репрезентативных ключевых объектах, с последующей интерполяцией полученных данных на промежуточные ситуации.** В этой связи на данном этапе представляется более правильным **как можно скорее организовать такие исследования с целью выяснения, в первую очередь, зональных закономерностей изменения растительного покрова.** А на их основе каждая страна сможет разработать мероприятия уже с учетом своего географического положения.

Общеизвестно, что географическая дифференциация земной поверхности на зоны по климатическим, биогеографическим и почвенным особенностям связана преимущественно с широтным распределением тепла. При этом **зональные биоценозы наиболее типичное выражение имеют на внутриконтинентальных плакорных территориях.** Отсюда становится ясно, что в период глобального изменения климата **важнейшей проблемой является хронобиологический анализ уязвимости именно плакорных растительных систем разных широт.**

Реальность и возможности решения данной проблемы можно проиллюстрировать на примерах лесных доминантов растительного покрова бывшей территории СССР. Эти объекты удобны тем, что СССР занимал очень крупную и вместе с тем репрезентативную территорию северных широт (около 1/6-й части всей земной суши). Причем именно лесные биоценозы пока еще в основной своей массе здесь находятся не в столь разбалансированном состоянии, как в большинстве густонаселенных других странах. Происходящие же современные изменения климатического режима этой территории уже были рассмотрены в 1 главе книги, что позволяет не останавливаться здесь на данной стороне вопроса.

Лесная зона бывшего СССР простирается от Балтики до Тихого океана, а с юга на север ее протяженность превышает 2000км. Такая большая территория лесной зоны определяется климатическими факторами, в первую очередь – температурным режимом. Севернее параллели бывшего Ленинграда и Свердловска здесь преобладает климат тайги, который от-

личается континентальностью, суровыми зимами (с температурой января до -44°), теплым летом (в наиболее жаркое время до $+35^{\circ}$), с наибольшим количеством осадков в летнее время. Южнее тайги преобладает климат лесов умеренного пояса. Он формируется под влиянием полярного воздуха. Лето здесь более теплое, а зима – мягкая. Этот климат дает возможность произрастания смешанных хвойно-лиственных и лиственных лесов. В районах среднего течения Амура, Приморском крае и Южном Сахалине преобладает климат муссонного типа умеренных широт. Здесь летом часты южные и юго-восточные ветры, которые несут влажные массы воздуха Тихого океана, способствующие выпадению большого количества осадков. Средняя температура января достигает минус 23° . Лето наоборот, – теплое и влажное, со средней температурой июля до $+20^{\circ}$.

В условиях тайги господствуют хвойные породы деревьев: ель обыкновенная и сибирская, пихта сибирская, кедр сибирский, лиственница Сукачева, сибирская и даурская, сосна обыкновенная. Здесь же большие площади занимают осиновые и березовые леса. В юго-западной части зоны условия для роста лиственных пород более благоприятны и потому там растут смешанные, лиственные и хвойно-широколиственные леса. В составе широколиственных преобладают дуб черешчатый, клен остролистный, липа мелколистная, вяз, осина, береза.

Представление о климатическом разнообразии рассматриваемого региона позволяют получить рис. 26 и 27.

Более подробное описание современного климата России можно найти в публикациях, выполненных под редакцией Т.В. Покровской (1958); Б.П. Алисова, Б.В. Полтараус(1974); Н.В. Кобышевой(2001); А.В. Бородко (2007) и в ОД, том 1(2008) .

Наиболее наглядно особенности разнообразия продуктивности растительных систем лесной зоны характеризуются картографическими материалами « Атласа лесов СССР»(1973) выполненными именно в тот период, пока климат еще оставался относительно неизменным.

Для иллюстрации этих закономерностей кратко остановимся на широко распространенных и довольно контрастно отличающихся по биологическим требованиям породах: лиственнице, ели, березе. **Лиственница** – одна из самых холодостойких древесных пород. Светолюбива. Живет до 500 и более лет. К почве нетребовательна. Развивает мощную корневую систему. Болот с застойной влагой не выносит. **Ель** в лучших условиях живет до 250 лет. Обладая мощным эдифицирующим влиянием при нормальных условиях в лесной зоне, ель успешно конкурирует с другими породами. **Береза** невзыскательна к климатическим условиям. Зимостой-



Рис.26. Климатические пояса и области (Алисов, Полтараус, 1974).

Области арктического пояса: 1)внутриарктическая (холодная), 2) атлантическая (умеренно холодная), 3) сибирская (холодная),4) тихоокеанская (умеренно холодная). Области субарктического пояса: 5) атлантическая (влажная, умеренно холодная), 6) сибирская (умеренно влажная, умеренно холодная), 7)тихоокеанская (избыточно влажная, умеренно холодная). Области умеренного пояса: 8)атлантико-арктическая (избыточно влажная, умеренно теплая), 9) атлантико-континентальная европейская (умеренно влажная, умеренно теплая), 10) континентальная западно-сибирская (влажная, умеренно теплая), 11) континентальная восточно-сибирская (умеренно влажная, умеренно теплая), 12) муссонная дальневосточная (влажная, умеренно теплая), 13) тихоокеанская (избыточно влажная, умеренно холодная), 14) атлантико-континентальная европейская (недостаточно влажная, очень теплая), 15) континентальная западно-сибирская (недостаточно влажная, теплая), 16) континентальная восточноевропейская (умеренно сухая, очень теплая),17) горная Большого Кавказа, 18) Горный Алтай и Саяны.(цит. по ОД, том 1,2008:11)

ка, нетребовательна к почвам, но не переносит близости грунтовых вод. Светолюбива. Продолжительность жизни у разных видов от 40 до 120 лет.

Размещение лесных насаждений и изменение продуктивности (классов бонитетов) этих пород наглядно показано на картографических материалах (рис.28-30), заимствованных из «Атласа лесов СССР»(1973).

Как известно, **классы бонитета устанавливаются по высоте насаждения при определенном возрасте**. Они характеризуют биологическую продуктивность лесобразующих пород, которая зависит от условий произрастания. **Чем больше средняя высота насаждения в каждом классе возраста древостоя, тем, соответственно, лучше и условия произрастания**. Высшей продуктивностью обладают насаждения 1 класса бони-

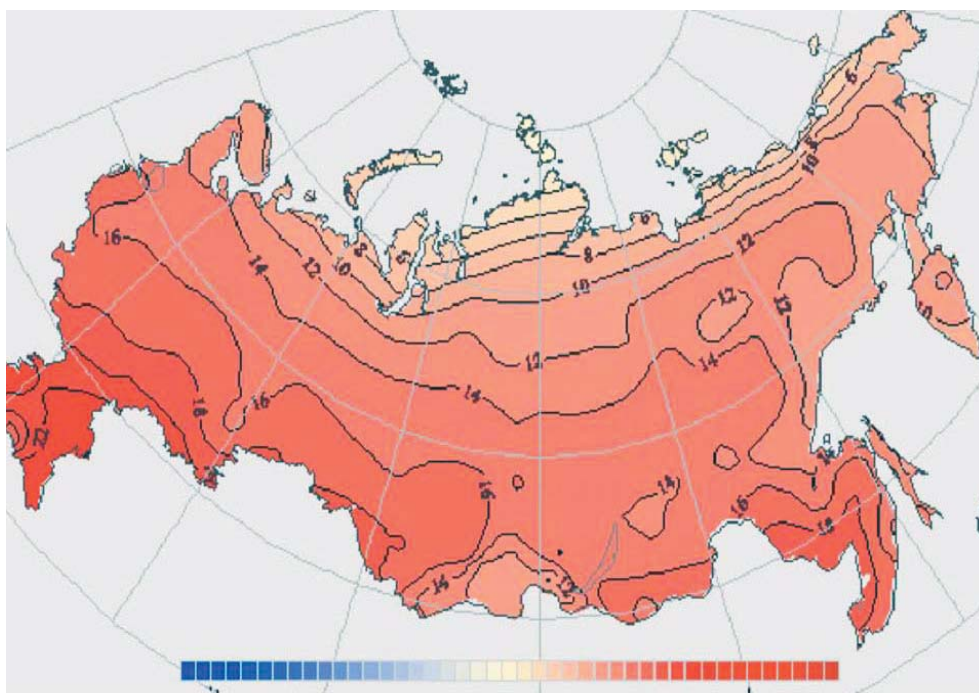


Рис.27. Средняя летняя температура приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) России за период 1961-1990гг. (цит. по ОД, том 1, 2008:12)

тета. Таким образом, **бонитет насаждения является наиболее информативным показателем, характеризующим условия произрастания и степень их пригодности для леса.** С его характеристикой тесно связаны диаметр, средний и текущий прирост древостоев, а также запас древесины на каждом возрастном этапе формирования древостоев. По каждой из анализируемых здесь пород (ели, лиственницы, березы) эти зависимости в графической форме представлены внизу карт на рис.28-30. Там же показана дифференциация этих сведений для насаждений разного возраста.

Картографические материалы рисунков 28-30, наглядно свидетельствуют о том, что детерминируемые географическим разнообразием климата бонитеты насаждений каждой лесообразующей породы в целом постепенно и закономерно изменяются в широтном направлении от юга к северу огромных просторов территорий бывшего СССР. Однако на возвышенностях и в горных местностях зональная картина их распределения может существенно видоизменяться. Поэтому для **понимания происходящих глобальных климатогенных изменений в растительных системах местообитания горных и равнинных растений необходимо исследовать отдельно.**

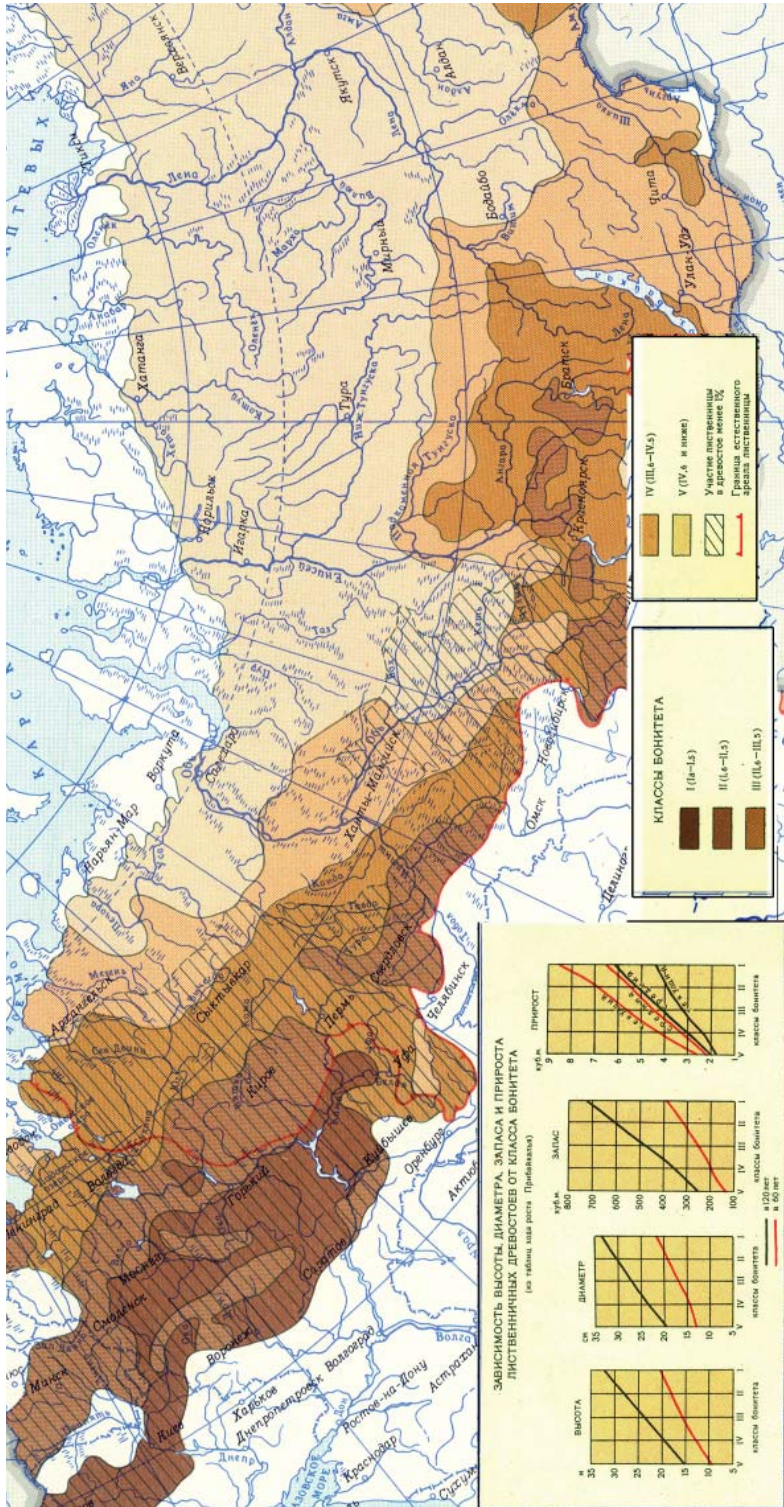


Рис. 28. Классы бонитета лиственных на территории России. По материалам «Атласа лесов СССР»(1973)

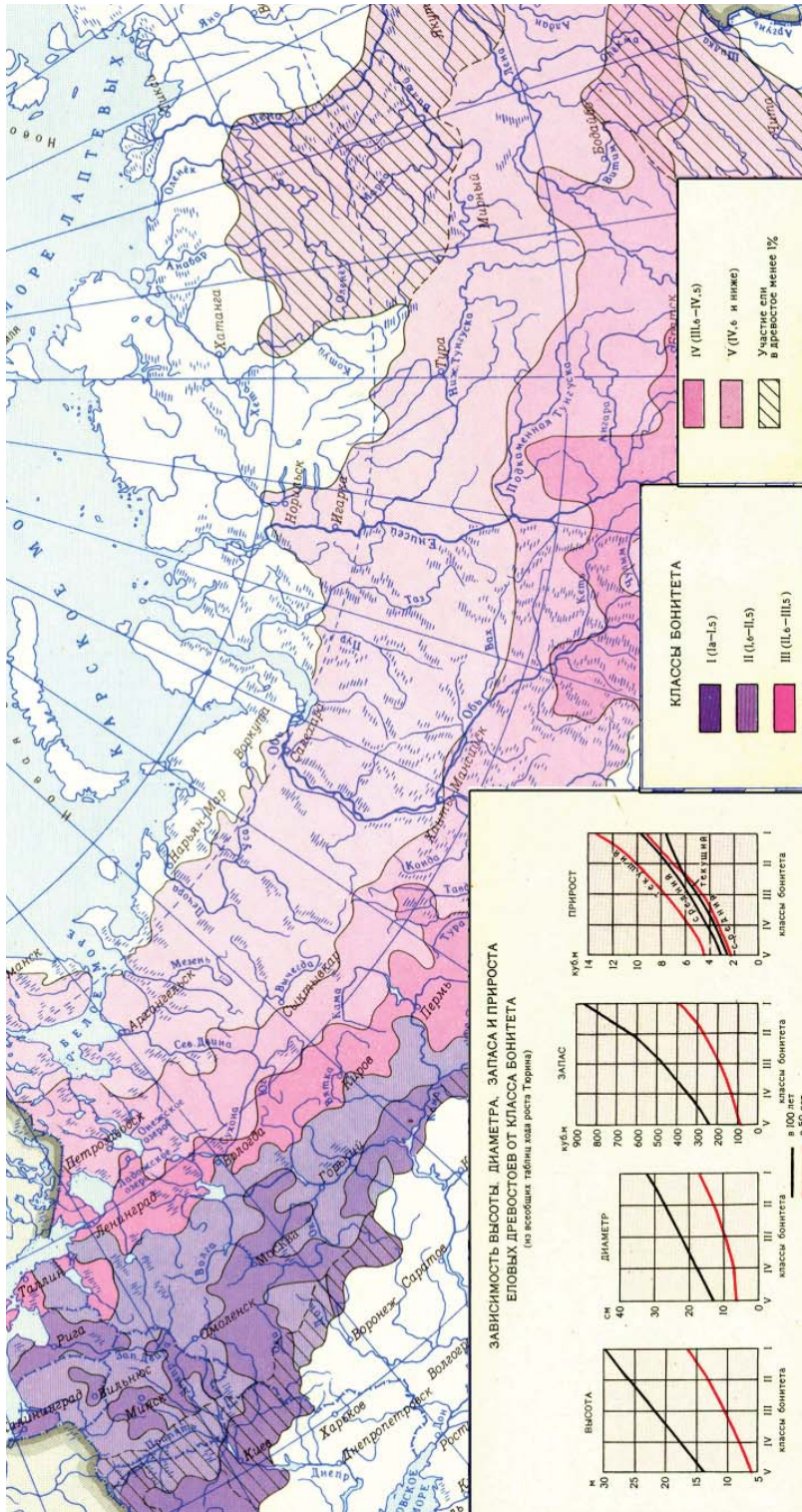


Рис. 29. Классы бонитета ели на территории России. По материалам «Атласа лесов СССР» (1973)

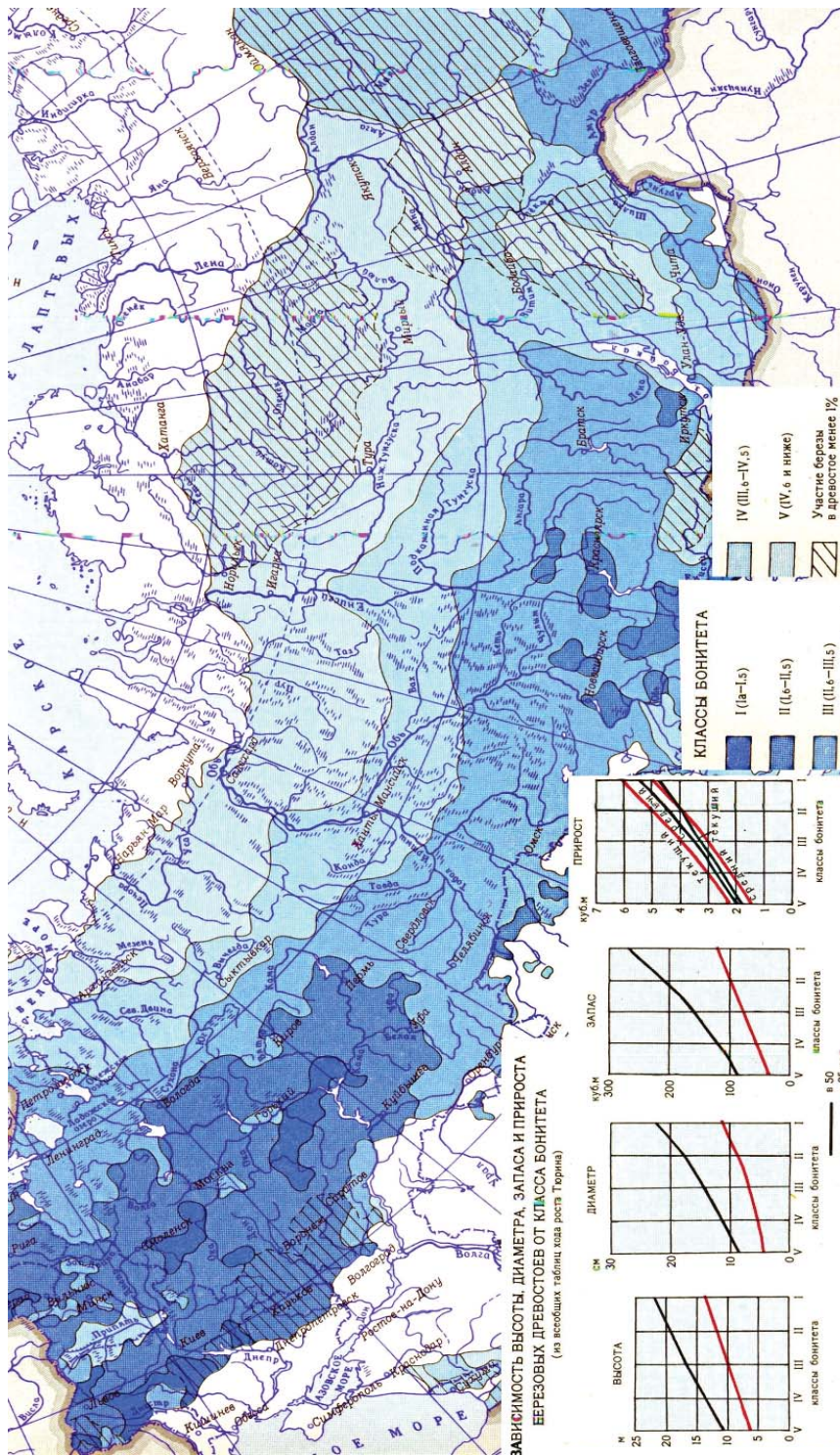


Рис. 30. Классы бонитета березы. По материалам «Атласа лесов СССР»(1973)

С учетом наблюдаемой общей картины изменчивости растительного покрова в качестве **наиболее приемлемого региона для хронобиологических исследований именно зональной климатогенной динамики растительных систем северных широт может служить Западно-Сибирская равнина** (рис. 31). Она расположена между Уралом и Среднесибирским плоскогорьем. Занимает около 3 млн. км². С севера на юг имеет протяженность 2500км, а с запада на восток – до 1900км. На севере равнины располагается тундра и лесотундра, южнее – тайга, которая занимает наибольшую площадь, а в южной части равнины – лесостепь и степь. **Нигде в северных широтах нашей планеты нет другого природного региона, столь же крупного, разнообразного, и притом с наименее разбалансированным состоянием естественно формирующихся растительных систем.** Во всех этих отношениях он уникален.

Имеющие место типичные для северных широт зональные закономерности изменения температурного режима воздуха и детерминированного им состояния плакорных растительных систем проиллюстрированы рис. 32, который представилось возможным выполнить на основе картографических материалов доминантов и изолиний температурного режима (рис. 27-30).

Как видим, в пределах охваченных рис.32 географических широт Западно-Сибирской равнины насаждения лиственницы представлены четырьмя классами бонитетов: от высокого II-ого класса (в южных широтах), до самого низкого V-ого класса (в северных широтах). Насаждения лиственницы второго класса бонитета имеют к 120-летнему возрасту запас древесины равный 600м³ на 1 га площади, при среднем диаметре стволов 30см и высоте более 27м. А насаждения лиственницы пятого класса бонитета имеют к 120-летнему возрасту запас древесины равный только 250м³ на 1 га площади, при среднем диаметре стволов 20см и высоте всего 15м.

Насаждения ели (рис. 32) представлены двумя классами бонитетов: IV-ого и самого низкого V-ого класса. Приуроченные к южным широтам насаждения ели четвертого класса бонитета имеют к 100-летнему возрасту запас древесины равный 350м³ на 1 га площади, при среднем диаметре стволов 18см и высоте 18м. А приуроченные к северным широтам насаждения ели пятого класса бонитета имеют к этому возрасту запас древесины равный только 250м³ на 1 га площади, при среднем диаметре стволов 12см и высоте всего 14м.

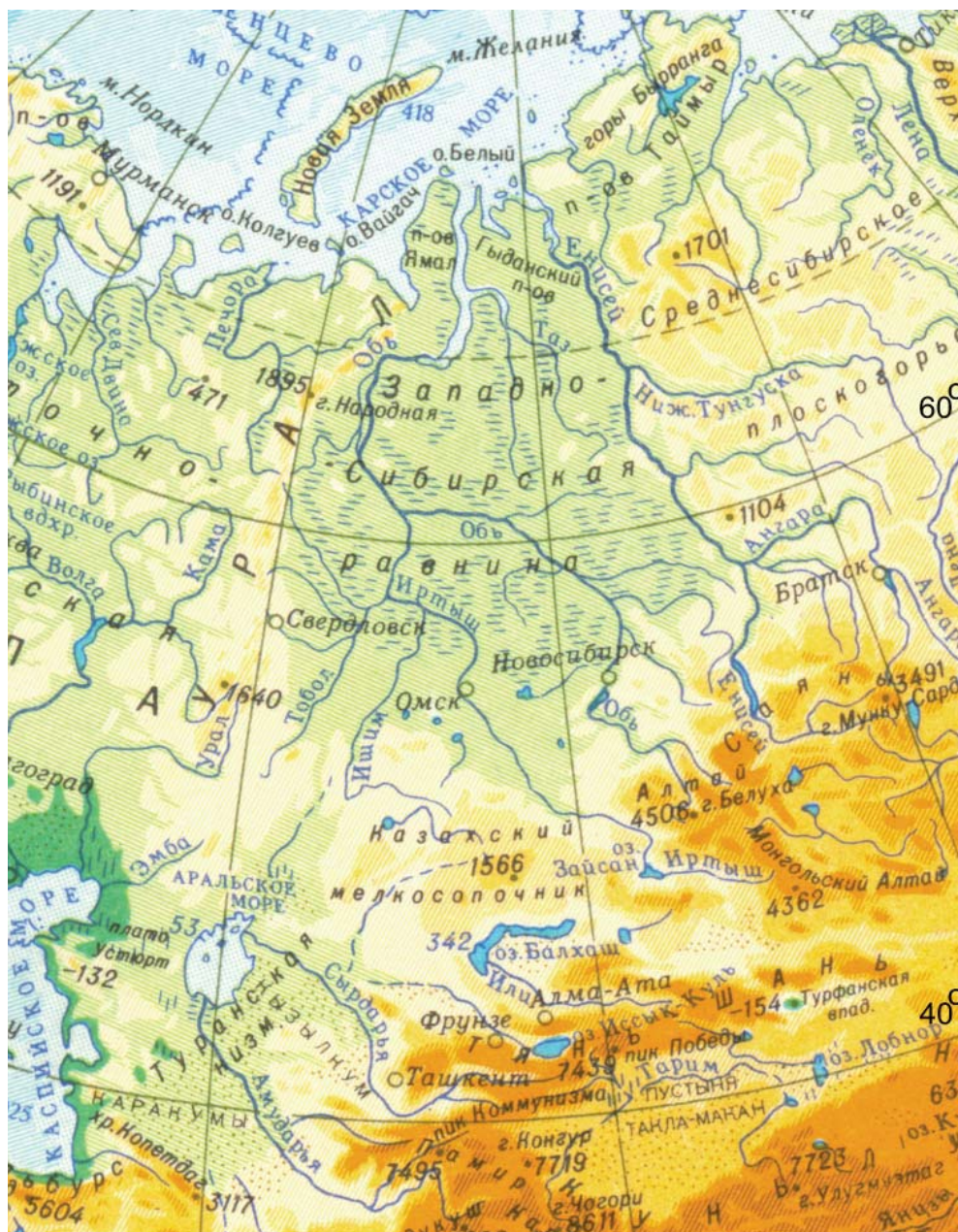
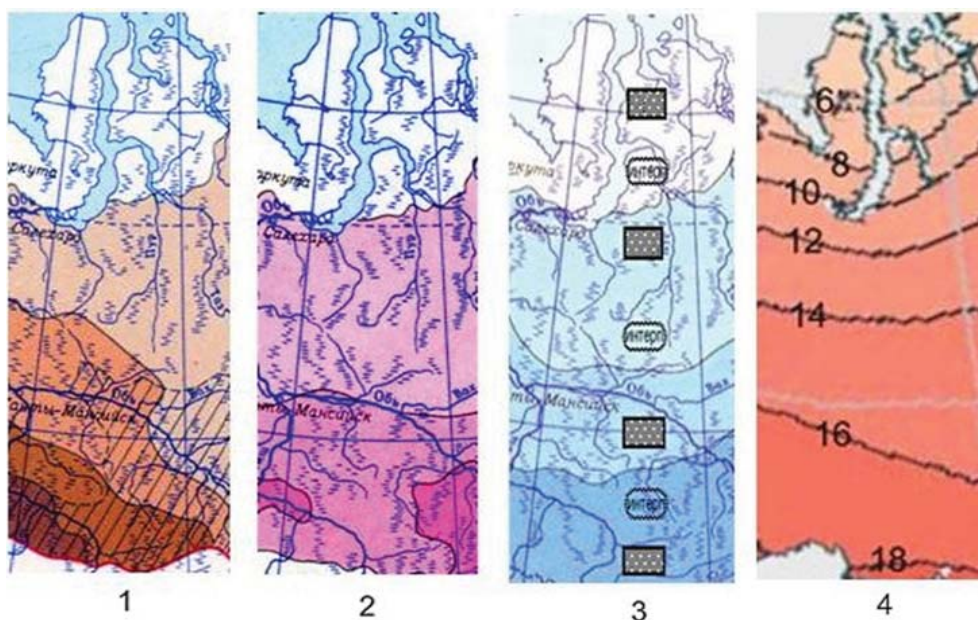
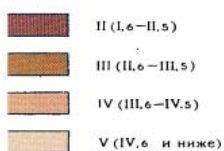


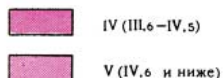
Рис. 31. Географическое положение Западно-Сибирской равнины (по материалам «Атласа СССР», 1956).



Классы бонитета
лиственницы



Классы бонитета ели



Классы бонитета
березы

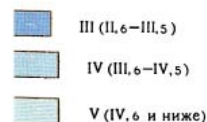


Рис. 32. Широтные градиенты разнообразия классов бонитета лиственницы (1), ели (2), березы (3) и изолинии летней температуры ($^{\circ}\text{C}$) приземного воздуха (4) Западно-Сибирской равнины.

Обозначения те же, что и на рис. 27-30. Квадратами показано проектируемое размещение стационаров хронобиологических наблюдений. Закругленными прямоугольниками показаны координаты возможной интерполяции результатов хронобиологического анализа.

Насаждения березы представлены тремя классами бонитетов: от III-го (в южных широтах) до самого низкого V-ого класса (в северных широтах). Здесь 50-летние насаждения березы третьего класса бонитета имеют запас древесины равный 160 м^3 на 1 га площади, при среднем диаметре стволов 15 см и высоте 17 м. А 50-летние насаждения березы пятого класса бонитета имеют запас древесины равный только 90 м^3 на 1 га площади, при среднем диаметре стволов 8 см и высоте всего 11 м.

Рассмотренные материалы свидетельствуют об огромном диапазоне варьирования продуктивности лесообразующих пород в широтном направлении территории Западно-Сибирской равнины. При этом **все характеристики продуктивности их насаждений закономерно и плавно, постепенно сменяют друг друга – от более высоких до самых низких.** Точно также **закономерно, постепенно и плавно в широтном направлении происходит и изменение даты наступления разных фенособытий** лесных доминантов.

В данной связи фактические доказательства закономерного изменения фенособытий у доминантов растительного покрова можно также найти в картографических материалах «Атласа лесов СССР»(1973). Эти материалы (рис.33-38) иллюстрируют исключительную чувствительность фенологической реакции растений на изменяющиеся с широтой местности климатические условия земной суши. Карты зацветания осины и лиственницы, карты зацветания черемухи обыкновенной и азиатской, зацветания рябины обыкновенной и сибирской, карты зеленения и пожелтения березы свидетельствуют о том, что **характеризующие фенологические процессы изофены, плавно, постепенно и закономерно изменяются в направлении от южных к северным широтам.** Притом в зависимости от климатических условий **сдвиги в наступлении иллюстрируемых картами фенофаз у растений в широтном направлении достигают 60-ти и более дней.** Все эти изменения происходят не хаотично, а весьма закономерно, подчиняясь зональному порядку изменения климата. И они охватывают огромные территории континента: от 45° до 70° северной широты, и от 20° до 180° восточной долготы.

Как свидетельствуют о том материалы цитируемого «Атласа лесов СССР», результаты фенологических наблюдений по каждому виду растений позволяют сориентироваться в очень большом круге вопросов. Например, распускание листьев березы почти совпадает с ее зацветанием. В те же сроки начинают разворачиваться листья тополей, клена ясенелистного, липы мелколистной, рябины, лещины. Зацветают клен остролистный, ива ломкая и серебристая, жимолости, черника. Полное пожелтение листьев березы белой характеризует также окончание ассимиляционного периода у большинства листопадных деревьев и кустарников. На неделю раньше березы расцветчиваются листья клена, вяза, липы мелколистной. Позднее березы расцветчиваются листья бука и хвоя лиственницы европейской.

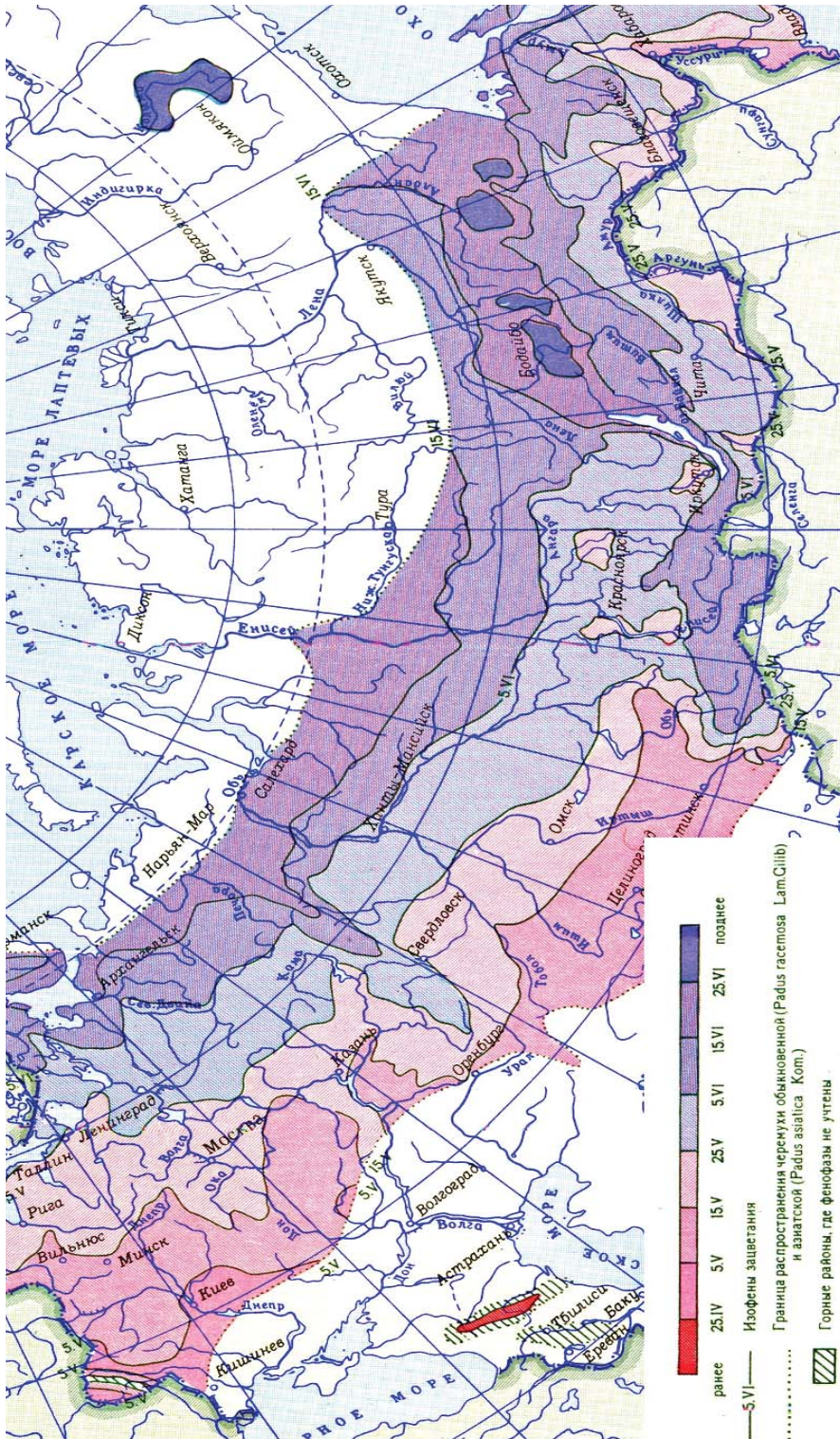


Рис.33. Зацветание черемухи обыкновенной и азиатской. По материалам «Атласа лесов СССР»(1973).

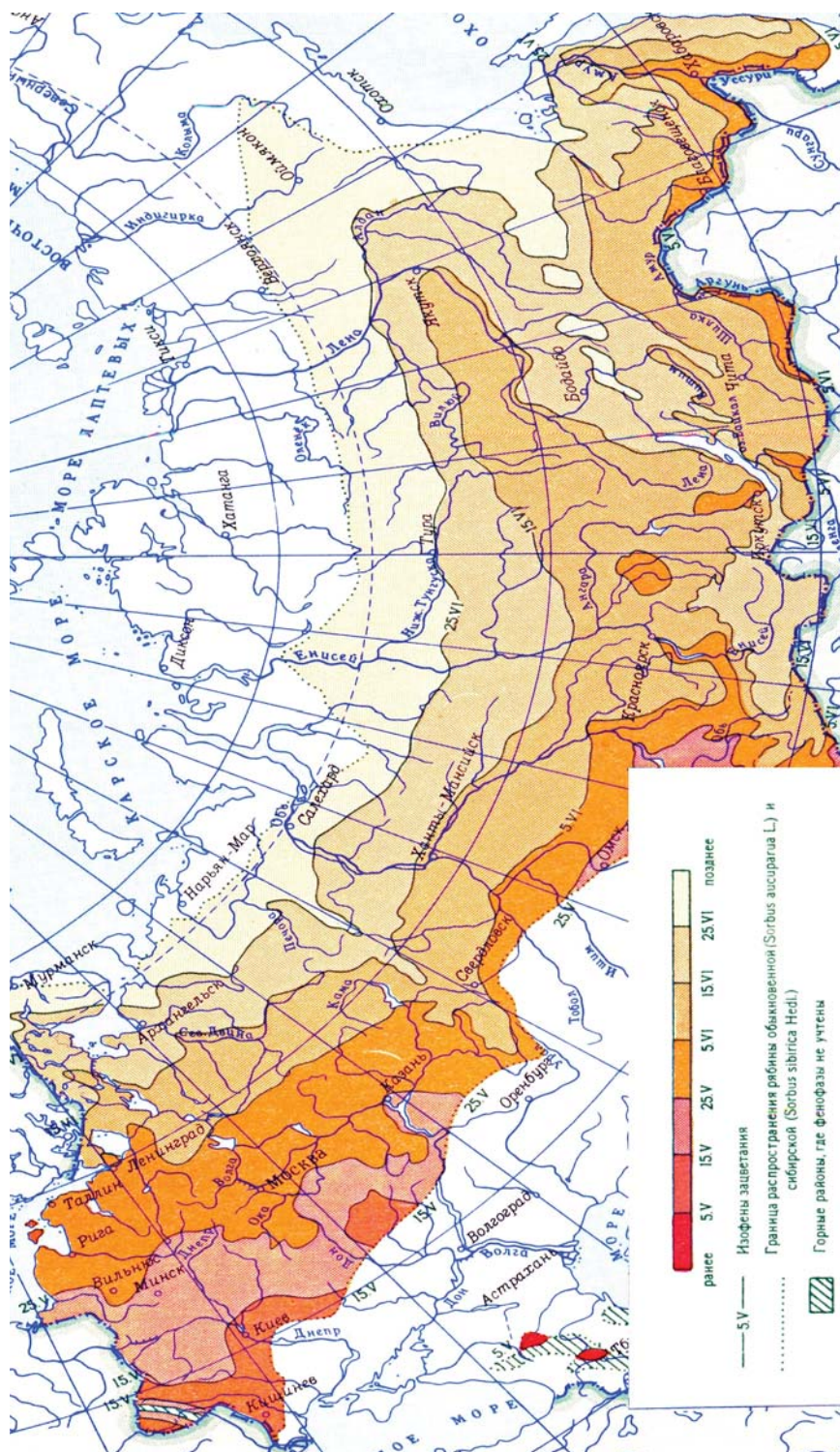


Рис. 34. Зацветание рябины обыкновенной и сибирской. По материалам «Атласа лесов СССР»(1973).

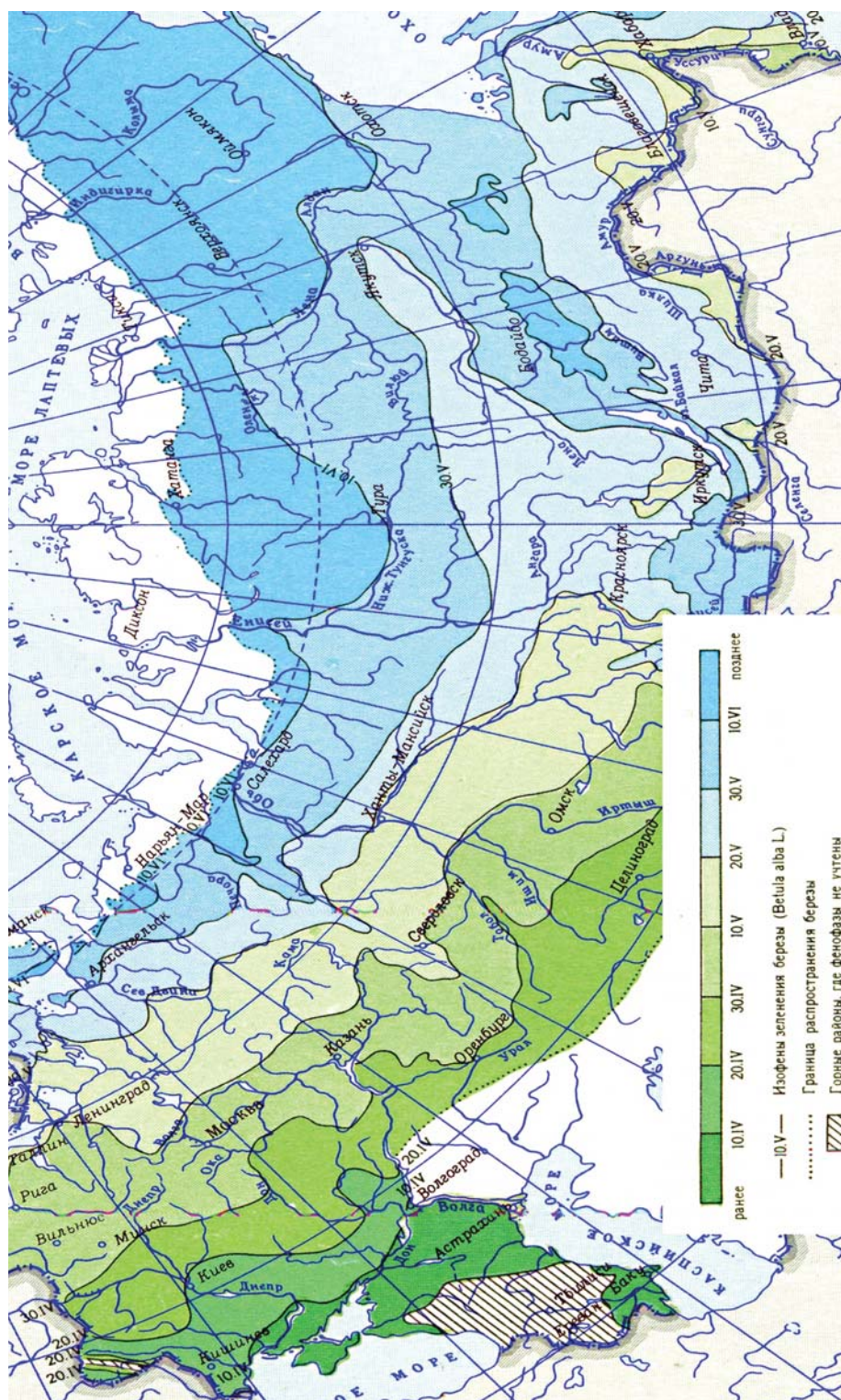


Рис. 35. Зеленение березы. По материалам «Атласа лесов СССР» (1973).

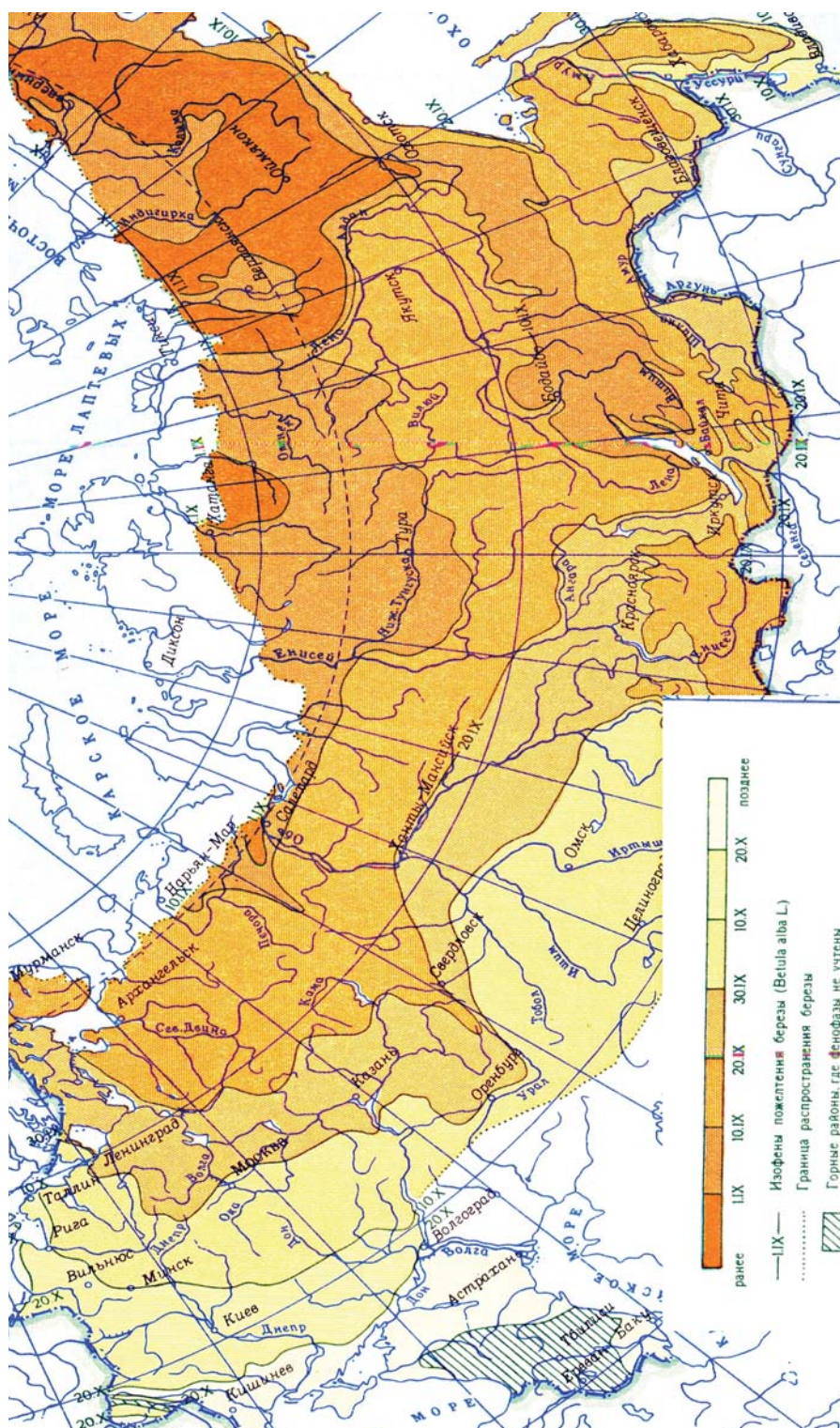


Рис. 36. Пожелтение березы. По материалам «Атласа лесов СССР»(1973).

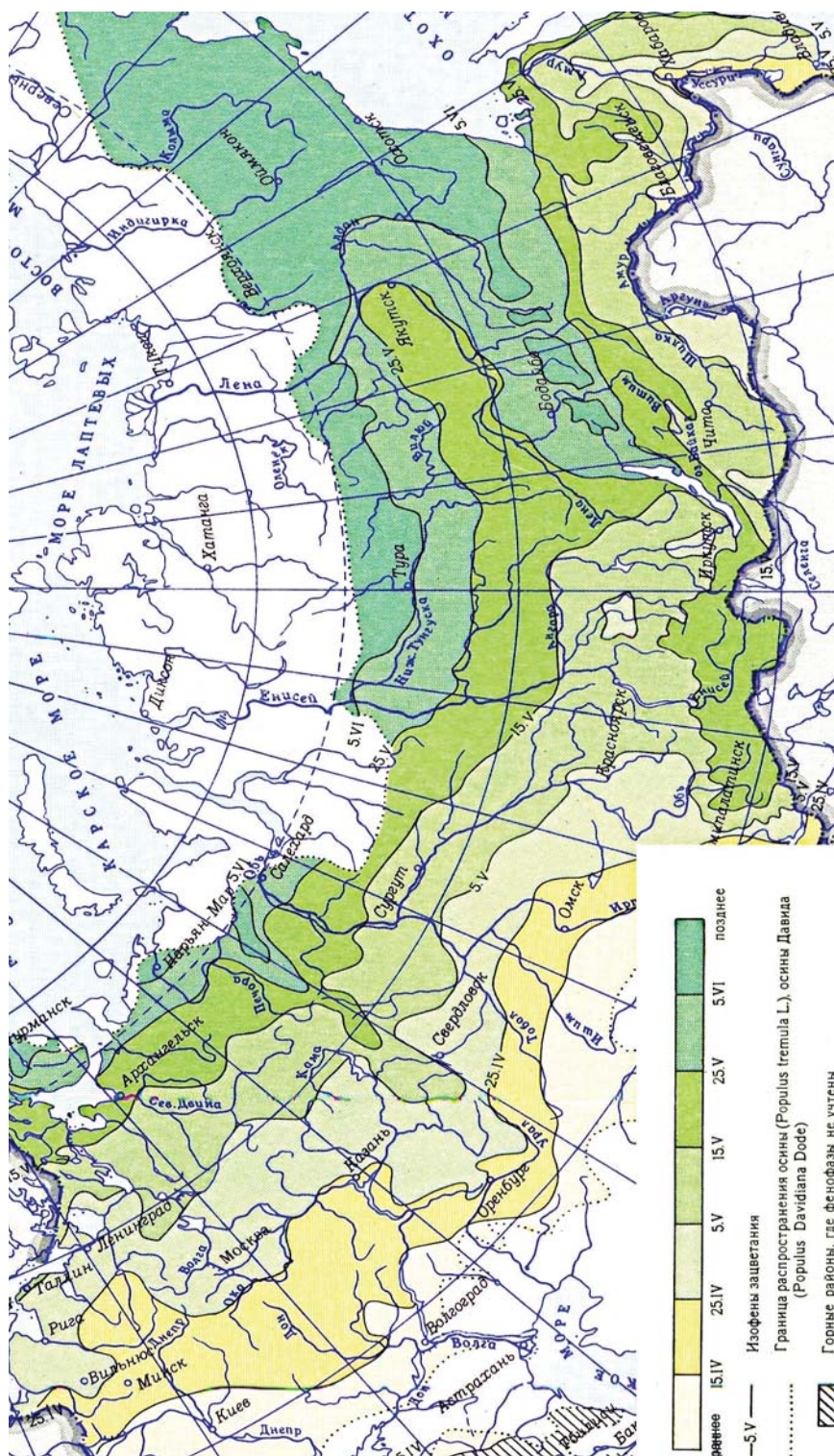


Рис.37. Зацветание осины. По материалам «Атласа лесов СССР»(1973).

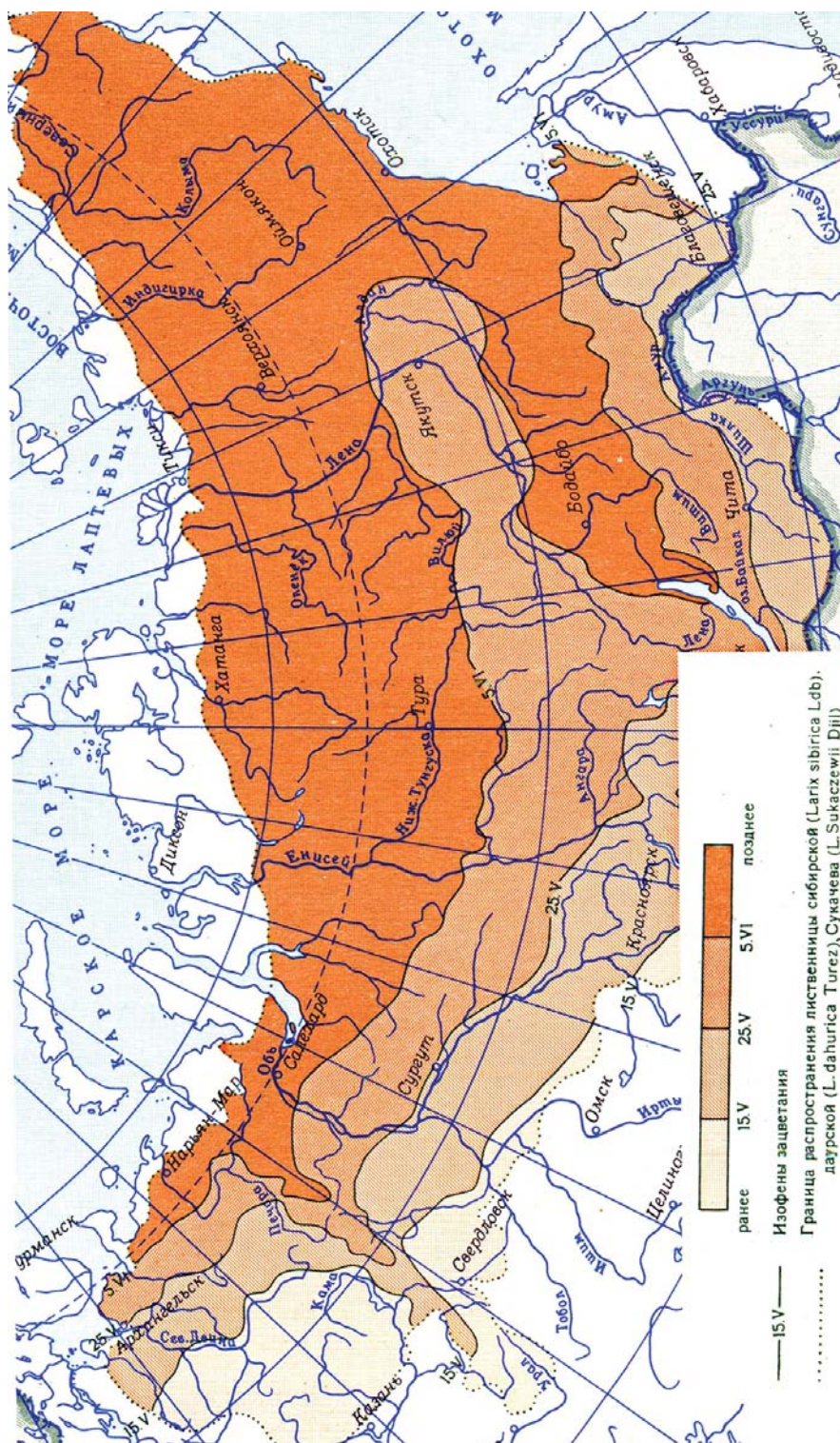


Рис. 38 . Зацветание лиственницы. По материалам «Атласа лесов СССР»(1973).

Зацветание осины совпадает с зацветанием лиственницы, а созревание семян – с периодом цветения рябины обыкновенной. Осеннее расцвечивание листьев осины наступает в сроки близкие к срокам пожелтения листьев у березы белой.

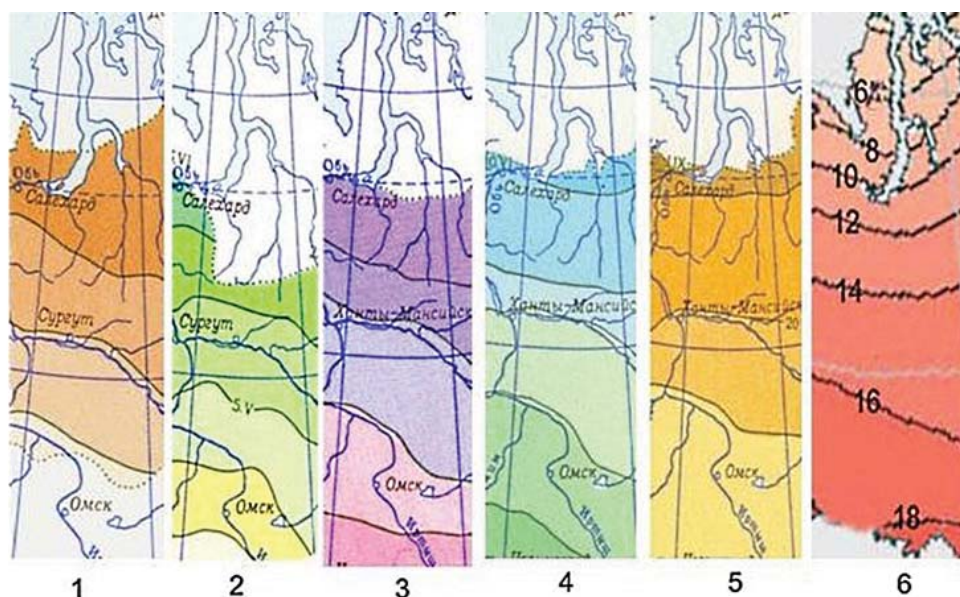
Зацветание и зеленение лиственницы сибирской проходит одновременно с мая по июнь. В это же время цветет ива бредина, и некоторые ильмы, разворачиваются листья у черемухи обыкновенной. Созревание семян лиственницы наступает после созревания желудей дуба черешчатого. Пожелтение хвои наступает на неделю позднее пожелтения листьев березы белой.

Зацветание рябины обыкновенной совпадает с началом пыления сосны обыкновенной. Почти одновременно зацветают клен татарский, бересклет бородавчатый, жимолость татарская, крушина ломкая и слабительная, боярышник пятипестичный, барбарис обыкновенный. В этот период начинается созревание семян ивы бредины и осины.

Начало зацветания черемухи совпадает с началом пыления ели и началом роста побегов у ели и сосны. В этот же период покрываются лиственной листопадные виды лесообразующих пород, зацветают некоторые виды ясеня, лесная смородина. Время распускания листвы и черемухи совпадает со временем зеленения лиственницы.

На основании рассмотренных выше карт здесь представляется возможным выполнить рис.39, который наглядно иллюстрирует широтные градиенты разнообразия сроков наступления фенособытий у лиственницы, осины, черемухи и березы сопряженных с изолиниями средней летней температуры приземного воздуха в районе Западно-Сибирской равнины. Для лиственницы, осины и черемухи на рис.39 показаны даты зацветания, свидетельствующие о сроках протекания репродукционного процесса; а для березы – даты начала весеннего зеленения и осеннего пожелтения листьев, которые служат индикаторами хода не менее важных процессов – дыхания и фотосинтеза. Как видим, в направлении от южных к северным широтным границам ареалов лесообразующих пород в Западно – Сибирской равнине смещения сроков наступления этих фенособытий нередко достигают двух и более месяцев.

Таким образом, рассмотренные материалы свидетельствуют о том, что температурный режим Западно-Сибирской равнины весьма жестко регулирует продуктивность и другие характеристики доминантов растительного покрова в широтном направлении. Их закономерное, плавное изменение в данном направлении сохранится и при дальнейшем глобальном потеплении климата.



Обозначения градаций даты наступления фенособытий

№	Порода-фенофаза	Обозначения
1	Лиственница-зацветание	ранее 15.V 25.V 5.VI позднее
2	Осина-зацветание	ранее 15.IV 25.IV 5.V 15.V 25.V 5.VI позднее
3	Черемуха-зацветание	ранее 25.IV 5.V 15.V 25.V 5.VI 15.VI 25.VI позднее
4	Береза-зеленение листьев	ранее 10.IV 20.IV 30.IV 10.V 20.V 30.V 10.VI позднее
5	Береза-пожелтение листьев	ранее 1.IX 10.IX 20.IX 30.IX 10.X 20.X позднее

Рис.39. Широтные градиенты разнообразия сроков наступления фенособытий у лиственницы (1), осины (2), черемухи (3), березы (4,5) и изолинии средней летней температуры приземного воздуха в °C (6) в районе Западно-Сибирской равнины.

С учетом этих закономерностей в равнинных условиях стационары для мониторинга и выполнения хронобиологического анализа целесообразно проектировать по линии широтно-ориентированного экологиче-

ского профиля, размещая их через равные градации широты местности. Например, так, как показано на рис.32. Как видим, для исследования лесных растительных систем Западно-Сибирской равнины достаточно иметь три стационара. Показанный на рис. 32 крайний северный стационар будет расположен уже в тундре. А с юга намеченный ряд стационаров хронобиологических исследований может быть продолжен еще на два – для лесостепи и степи.

При таком размещении хронобиологических стационаров накопленные в них результаты исследований в ходе глобального изменения климата будут отражать закономерные, постепенные изменения свойств растительных систем в направлении изменения географической широты местности. В результате на основе этих данных можно выполнять хронобиологический анализ закономерностей изменения растительных систем не только в местах дислокации каждого отдельно взятого стационара. **Удастся также выяснить основные закономерности для всего крупнейшего в мире экологического полигона Западно-Сибирской равнины: путем интерполяции на промежуточные территории результатов исследований системно функционирующих стационаров.** Координаты таких вариантов возможной интерполяции результатов хронобиологического анализа в Западно-Сибирской равнине показаны на рис.32 закругленными прямоугольниками. **Привязка объектов и результатов исследований к широте местности, (подобно как делается привязка к абсолютной высоте местности в горах) позволит автоматически учесть природную дифференциацию влияния изменения климата, как во времени, так и по территории суши.**

В рассматриваемом контексте около 6-7 системно организованных стационаров хронобиологических наблюдений позволят выяснить основные закономерности динамики всего широтного диапазона растительного покрова крупнейшего в мире экологического полигона Западно-Сибирской равнины. В нем будут представлены тундра, лесотундра, тайга, лесостепь и степь. **Притом детализация закономерностей изменения этих растительных систем в период трансформации климата будет выполняться камерально, без дополнительных полевых исследований, а путем интерполяции результатов работы системно организованной сети хронобиологических стационаров (см. главу 2).**

В свете уже накопленного опыта интерполяционный прогноз при хронобиологическом анализе уязвимости растительных систем крупных равнинных территорий должен обязательно базироваться на системной организации работы сети центров хронобиологического анализа, приме-

нении ими единой методики сбора и обработки результатов хронобиологических наблюдений и выполнении комплексного анализа уязвимости растительных систем региона. В научно-методологическом отношении целесообразность применения интерполяционного прогноза подтверждается не только проверкой и накопленным опытом его использования в интродукции растений. **Вся совокупность имеющихся в науке данных и проиллюстрированных выше картографических материалов тоже убедительно доказывают целесообразность применения интерполяционного прогноза на основе объективно существующих закономерностей постепенного изменения биологических свойств растительных систем по мере изменения географической широты местности в условиях плакоров.**

На данной основе в пределах охваченной хронобиологическими стационарами любой крупной широтно-простирающейся равнинной территории можно выполнить интерполяционный прогноз на все промежуточные пункты, расположенные посередине между стационарами. Для этого нужно получить числовые оценки уязвимости и временного хода изменений прогнозируемой растительной системы, как средние для координат широты местности между двумя ближайшими хронобиологическими стационарами. В таком случае **при интерполяционном прогнозе результатов хронобиологического анализа имеется реальная возможность автоматически учесть действие всего комплекса факторов среды обитания и внутриценотических связей в растительных системах.** Это станет возможным потому, что базовые хронобиологические стационары, по данным которых ведется интерполяционный прогноз, будут ординированы с учетом географической широты местности, природной зональности и связанных с географической средой характеристик растительных систем. А сами результаты интерполяционного прогнозирования будут основываться на фактических материалах высококвалифицированного стационарно выполненного хронобиологического анализа, что обеспечит очень высокую точность прогнозирования.

Рассмотренный выше материал иллюстрирует реальность осуществления интерполяции результатов хронобиологического анализа для любых крупных широтно-ориентированных равнинных территорий. **Причем интерполировать в пределах этих территорий можно будет полученные на стационарах количественные оценки временного хода изменений и степени уязвимости всех характеристик растительных систем в период глобальной трансформации климата.** Благодаря

этому эффективность работы каждого стационара хронобиологических наблюдений и его научная ценность многократно возрастают, а общие затраты на выполнение хронобиологического анализа минимизируются.

В развитие сказанного выше здесь было бы уместно еще отметить целесообразность организации мониторинга и хронобиологического анализа растительных систем (в том числе и агрофитоценозов) **в пределах еще более крупного объединенного широтного профиля территорий Западно-Сибирской равнины Российской Федерации и расположенных южнее равнинных просторов других республик бывшего СССР.** При такой организации исследований можно проследить ход главных процессов изменения растительных систем в еще большем широтном диапазоне географических зон: на расстоянии свыше 6000км, начиная от 40° с.ш. Здесь будут представлены все имеющиеся природные зоны северного полушария: зона тундры, лесотундры, лесная, лесостепная и степная зона, зона полупустыни и пустыни. Для каждой зоны еще сохранились характерные почвы, климат, растительность, фауна. Наряду с тем, здесь же широко представлено и основное разнообразие агрофитоценозов, обеспечивающих продуктовую и сырьевую безопасность стран северного полушария. Имеется и необходимая для сравнения контрольная база данных о состоянии растительных систем до начала изменения климата, созданная за период существования СССР трудами многих высококвалифицированных коллективов ведущих прикладных и фундаментальных институтов. Другого такого экологического полигона для исследований невозможно найти нигде. Он уникален, как в силу своей большой протяженности, репрезентативности, так и разнообразия. Поэтому ввиду общемирового значения хронобиологического анализа данного комплекса растительных систем было бы целесообразно организовать здесь работу по международным программам с привлечением специалистов и средств заинтересованных сторон.

Становится ясно, что **сеть стационаров хронобиологических наблюдений должна репрезентативно отражать разнообразие ключевых объектов растительных систем.** Даже на примере рассмотренных выше материалов можно было наглядно убедиться в том, что для обоснования, планирования и создания такой рациональной сети системно-организованных стационаров хронобиологического анализа растительного покрова равнинных территорий к настоящему времени уже имеется необходимая научная основа. В период до начала глобального изменения климата накоплена крупная база материалов фактических наблюдений за растительными системами большинства регионов. По-

добно, как для России, сведения о растительном покрове имеются и для территорий большинства других стран. Наряду с тем, давно приведена в известность характеристика размещения и продуктивности основных агрофитоценозов, которые обеспечивают продуктивную базу населения, базу технического и фармацевтического сырья, а также основных интродуцированных растений введенных в культуру для зеленого строительства. Все они также представляют собой очень важные объекты хронобиологического анализа в период глобального изменения климата. Опубликованы и весьма крупные сводки, обобщающие наработанную информацию о растительности земного шара в период ее формирования до начала глобального изменения климата (см., например, Г.Вальтер, 1968, 1974). Разработаны методики исследований, которые дают возможность с достаточной полнотой получить необходимые исходные сведения для выбора ключевых объектов исследований, мониторинга и хронобиологического анализа растительного покрова. В их числе работы В.Н. Сукачева, С.В. Зонн, Г.П. Мотовилова (1957); Л.Е. Родина, Н.П. Ремезова, Н.И.Базилевич (1968); В.И. Василевича (1969); Н.Н. Бейдеман (1974); Б.М. Миркина, Г.С. Розенберга (1978); Ю.А. Филипченко (1978); Т. А. Работнова (1987) ;Ю.Р. Шеляг-Сосонко, В.С. Крисаченко, Я.И. Мовчан (1991), В.И. Сахарова (2006), авторских коллективов «Программы и методики биогеоценотических исследований» (1974), многотомного издания «Полевая геоботаника»(1959 – 1976) и многие другие.

Для подбора репрезентативных ключевых объектов в равнинных условиях можно воспользоваться уже накопленным богатейшим опытом классификации растительности и биогеоценозов. В зависимости от конкретно поставленных задач хронобиологического анализа ключевые объекты могут быть подобраны в соответствии с задачами и профилем планируемых исследований. Например, при акцентировании исследований на проблемы лесоводства, луговодства и пастбищного хозяйства в настоящее время подбор ключевых объектов пока еще может быть выполнен с учетом ранее выявленных типов лесов, лугов и пастбищ. При хронобиологических исследованиях на уровне фитоценозов, подбор ключевых объектов должен быть согласован с таксономией фитоценозов и принятых для этого геоботанических рекомендаций. А при хронобиологическом анализе на биогеоценотическом уровне состав ключевых объектов должен отражать представленный набор типов биогеоценозов. Во всех случаях в качестве методологической основы решения этих задач целесообразно комплексно учитывать уже накопленный

опыт выбора ключевых объектов исследований в науках соответствующего профиля. На основе имеющегося опыта должны быть организованы стационарные преемственные хронобиологические исследования, позволяющие накопить базу данных для краткосрочно – поэтапного и долгопериодного анализа. **В равнинных условиях полученные на основе выбранных ключевых объектов результаты хронобиологических исследований могут быть интерполированы для обширных территорий.**

Таким образом, нужная корректировка координат и количества базовых стационарных центров хронобиологических наблюдений в условиях плакоров будет выполнена с учетом изложенных выше рекомендаций и накопленных до начала изменения климата материалов ботанических исследований. А в дальнейшем, по мере развития процесса изменения климата и вызванного этим изменения структуры и продуктивности растительных систем, **все ранее накопленные сведения тоже будут иметь важнейшее значение, но уже как контрольная база данных для сравнения и оценки происходящих изменений.**

Для того чтобы в режиме глобальной трансформации климата учесть роль и динамику изменений у культивируемых растений в равнинных условиях и на этой основе вносить регулярные инновационные коррективы в рекомендации по их выращиванию, нужен постоянный хронобиологический анализ и созданных агрофитоценозов. Поэтому объекты такого хронобиологического анализа должны быть также в сфере внимания проектируемых стационаров, как и природные растительные системы. Вся последовательность мероприятий связанных с подбором нужных ключевых объектов для хронобиологического анализа агрофитоценозов аналогична той, которая была рассмотрена выше в отношении естественно формирующихся растительных систем. Также как и в случае с природным растительным покровом размещение контрольных объектов хронобиологических наблюдений необходимо планировать с учетом разнообразия поведения интродуцентов в культуре в пределах всего ареала их возделывания. Выясненные на начальном этапе изменения климата жизненное состояние и продуктивность интродуцированных растений будут использоваться в дальнейшем как контроль. При этом в период изменения климата основными задачами хронобиологического анализа агрофитоценологических систем и интерполяционного прогноза результатов на промежуточные территории являются следующие.

1. Исследование закономерностей изменения показателей жизнеспособности интродуцированных растений в диапазоне территории охва-

ченной базовым составом хронобиологических стационаров. Выявление границ территории, где интродуцированные растения имеют оптимальные характеристики жизнеспособности и продуктивности. Формирование заключения о целесообразности культивирования испытываемых интродуцированных видов растений.

2. Изучение режима агротехнических приемов ухода за растениями в диапазоне базового состава хронобиологических стационаров. Определение оптимального режима агротехнических приемов для изучаемой территории культивирования растений. Интерполяционный прогноз рекомендаций по агротехнике выращивания.

3. Анализ экономической эффективности выращивания растений по базовым хронобиологическим стационарам. Интерполяция результатов этих исследований и формирование заключения об экономической эффективности выращивания растений и развития агробизнеса в пределах изучаемого культигенного ареала.

В целом по результатам стационарных хронобиологических исследований растительных систем плакоров разных широт **удастся выяснить временной ход происходящих изменений, их скорость, степень уязвимости и устойчивость растительных систем по градиентам широты местности.**

Рассмотренная во второй главе книги методологическая основа хронобиологического анализа, **может найти применение для исследования растительных систем любой конкретной заинтересованной страны.** Выполненный на этой основе хронобиологический анализ позволит с высокой степенью чувствительности и статистически достоверно получить количественную оценку степени уязвимости растительных систем. Даст выяснить временной ход изменений за любой изученный период трансформации климата. Станет возможным количественно оценить различные аспекты суммарной устойчивости растительных систем как интегрального результата частичных устойчивостей их разных характеристик. Притом удастся учесть не только неблагоприятные, но и благоприятные воздействия в период изменения климата. Представится возможность количественно оценить степень близости уязвимости каждого наблюдаемого показателя к функциональной зависимости.

В развитие вышеизложенного здесь уместно еще рассмотреть **концептуальные аспекты и возможности тотального хронобиологического анализа фенособытий растений на уровне всех равнинных территорий нашей планеты.** Как представляется, необходимость такого тотального

хронобиологического анализа фенособытий уже назрела и лежит, что называется, на поверхности. **Целесообразность и реальность тотального хронобиологического анализа фенособытий у растений доказывает и весь рассмотренный в третьей главе книги опыт исследований выполненных в Казахстане.** В пользу этого говорят также результаты исследований выполненных на территории Европейских государств и России. Они свидетельствуют, что меняющиеся климатические условия оказывают очень мощное давление на фенологические процессы у растений самой разной географической приуроченности. Поэтому фенология растений все более становится объектом самого пристального внимания многих исследователей разных стран (см. материалы главы 1 и 3).

Как показали материалы выполненных в Казахстане исследований (глава 3), в период изменения климата у растений в подавляющем большинстве случаев уже имеет место очень существенная разбалансировка ранее сложившегося хода фенособытий. Применение разработанной методологической основы и методов хронобиологического анализа дает возможность **получать объективную, статистически достоверную количественную оценку степени уязвимости фенособытий в очень широком диапазоне их изменчивости.** При этом на основе установленных величин корреляционных отношений и построенных линий регрессии представляется возможным количественно **исследовать степень близости уязвимости каждого наблюдаемого фенологического события к функциональной зависимости.** Удастся статистически достоверно **определить временной ход и скорость смещения фенособытий.** А поскольку в процессе тотальных исследований растительных систем Земли будет соблюдаться принцип единственного различия (климата), то **полученные результаты хронобиологического анализа отразят именно влияние климатогенных факторов в режиме времени их действия.** Преимуществом такого тотального хронобиологического анализа фенособытий будет и то, что **необходимые исследования могут быть выполнены для любого пункта, даже если метеонаблюдения там никогда не проводились.**

Разработанная методологическая основа и методы хронобиологического анализа материалов фенологических наблюдений позволяют обрабатывать массивы информации любого объема. Причем делать это именно в режиме времени изменения климата, и что очень важно – с достаточной для биологических исследований точностью и объективностью, обеспечиваемой статистической оценкой полученных результатов.

Пятнадцатилетний опыт рассмотренных выше исследований в пределах крупного экологического полигона от Северного Тянь-Шаня до Прибал-

хашья, мониторинг и хронобиологический анализ данных по фенологии доминантов растительного покрова позволили убедиться, что эта работа достаточно проста в исполнении. Но вместе с тем, полученные результаты хронобиологического анализа фенологических наблюдений очень информативны в биологическом отношении. На их основе **можно судить об уязвимости и динамике весьма широкого круга важнейших процессов и показателей жизнеспособности растений**. Например, – о начале, конце и длительности периода вегетации; начале, конце и длительности фазы активного роста растений; начале, конце и длительности периода фотосинтеза у растений; начале ежегодного цикла репродукции; начале, конце и длительности периода созревания семян; динамике созревания урожая растений и многих других процессах. Все эти сведения будут не только важны для изучения временного хода наблюдаемых изменений в жизни растений. Но, как свидетельствует о том опыт выполненного хронобиологического анализа, изложенный в третьей главе книги, полученная информация необходима и для того, чтобы судить о характере процесса разбалансировки межвидовых отношений в растительном покрове, возможных изменениях его структуры, продуктивности и биоразнообразия.

Наряду с тем высокая информативность хронобиологического анализа фенологии растений позволяет очень **оперативно и объективно судить об уязвимости растительных систем в целом, как совокупностей совместно обитающих видов**. Притом выяснить это удастся **на основе количественных показателей**, большого объема фактического материала, и, что особенно важно, – **на уровне анализа функциональной зависимости** происходящих изменений в период глобальной трансформации климата. В этом позволяют убедиться и все рассмотренные в третьей главе результаты исследований. Ими были проиллюстрированы детерминируемые изменением климата факты сокращения длительности периода вегетации растений и связанного с этим снижения их продуктивности. Выявлены факты существенного смещения даты начала цветения на более поздние или, наоборот, на ранние сроки, вследствие чего коренным образом менялся режим репродукции: продуктивность нектаровыделения и опыления растений, качество и жизнеспособность продуцируемых семян, процесс перекрестного опыления и естественного возобновления растений. Именно благодаря регулярным фенологическим наблюдениям и их хронобиологическому анализу удалось установить, что происходящие изменения климата уже вызвали коренные изменения в самых главных процессах жизни растений. И что эти изменения достоверно свидетельствуют об имеющей место высокой

степени уязвимости и разбалансировки растительных систем в период изменения климата.

Представленный выше даже краткий обзор материалов опубликованных в «Атласе лесов СССР»(1973), в свою очередь, также подтверждает возможность реализации тотального хронобиологического анализа фенологии растений в период изменения климата. Ими доказывается существование закономерных в широтном направлении зональных изменений фенособытий у растений. Наглядно иллюстрируется исключительно высокая информативность, широкая доступность и реальность использования фенологических наблюдений для целей тотального хронобиологического анализа важнейших изменений растительного покрова. А также иллюстрируется **объективность количественной оценки уязвимости фенособытий растительных экосистем в период глобальной трансформации климата**. Вместе с тем, эти и подобные им опубликованные материалы других стран имеют большую научную ценность, так как были собраны до начала существенной трансформации климата. **Они представляют собою контрольную базу данных** для последующего мониторинга, сравнения происходящих изменений фенологии растений, их хронобиологического анализа и оценки уязвимости растительных систем в процессе изменения климата.

Показанный выше характер постепенного, плавного изменения характеристик растительного покрова по экологическим градиентам северных широт на территории России является общей закономерностью. Поэтому та же тенденция постепенного изменения и притом не только в пространстве, но и во времени, будет повсеместно сохраняться и в период глобального изменения климата. Подтверждение тому можно найти уже сейчас. Например, – в материалах 30-летних наблюдений, которые отражают изолинии сдвига сроков наступления фенофаз у березы бородавчатой и рябины обыкновенной (рис.40, 41,42). Эти материалы были собраны именно в период уже происходящего изменения климата с 1970 по 2000гг. (Минин, 2000а, 2000б; Воскова, 2006 ; ОД.Том2.2008:103). И, хотя в изученном регионе европейской части России имеет место определенная неоднородность рельефа, они позволяют наглядно убедиться, что в пределах данной огромной территории **плавный, постепенный характер изменения фенофаз растений в широтном направлении преобладает и в режиме уже активно протекающей глобальной трансформации климата**. Притом вся наблюдаемая картина изменения фенофаз доминантов растительных систем свидетельствует о вероятной высокой степени их уязвимости в период изменения климата.

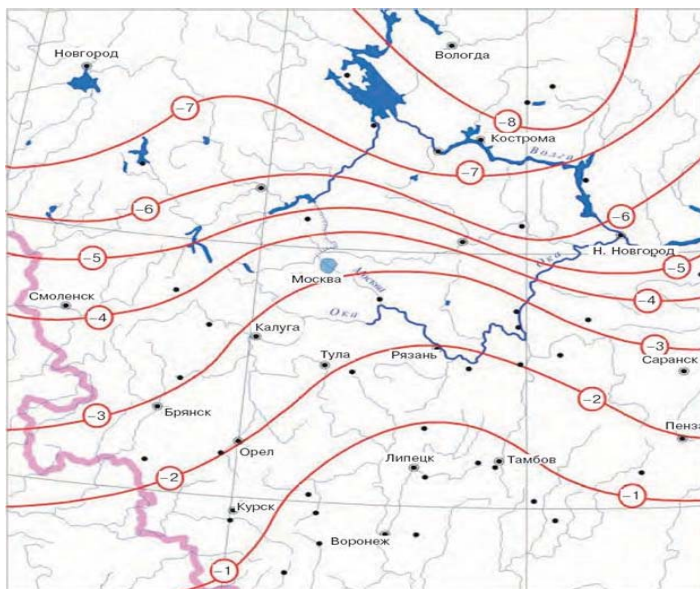


Рис. 40. Изолинии смещения сроков (сутки) разворачивания первых листьев у березы бородавчатой на ЕТР за период 1970–2000 гг. Точками показаны пункты фенологических наблюдений (по А.А. Минину, 2000а, 2000б; А.В. Восковой, 2006 ; ОД. Том 2. 2008).

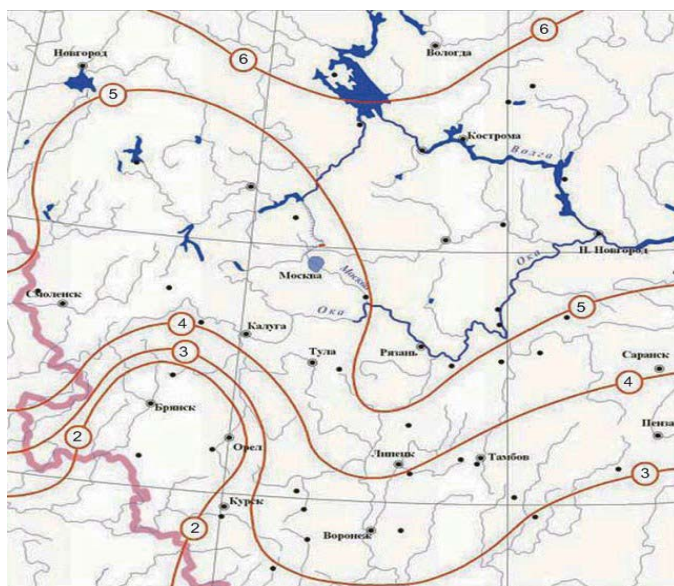


Рис. 41. Изолинии смещения сроков (сутки) окончания листопада у березы бородавчатой на ЕТР за период 1970 – 2000гг (по А.А. Минину, 2000а, 2000б; А.В. Восковой, 2006 ; ОД. Том 2. 2008).

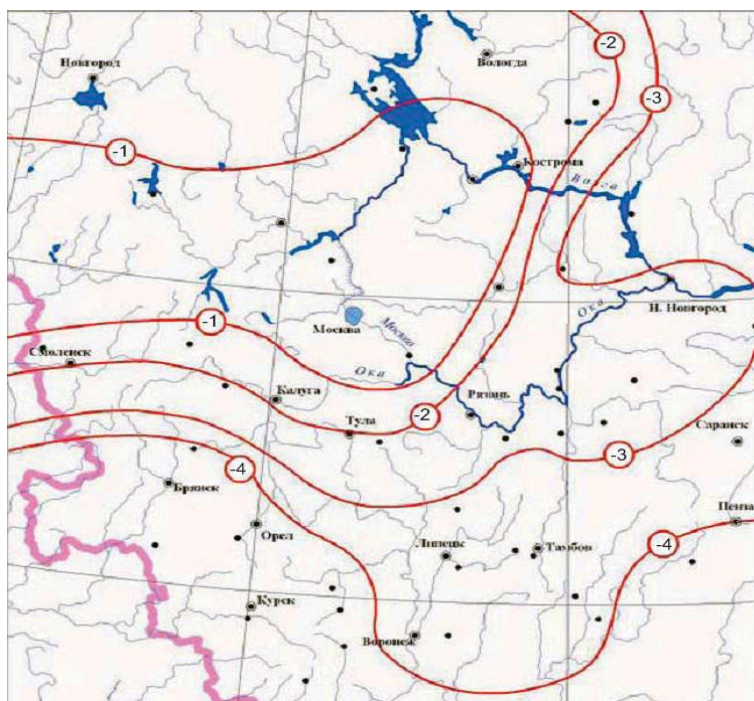


Рис. 42. Изолинии смещения сроков (сутки) зацветания у рябины обыкновенной на ЕТР за период с середины 1960-х годов до конца XX века (по А.А. Минину, 2000а, 2000б; А.В. Восковой, 2006 ; ОД. Том 2. 2008).

Совершенно очевидно, что закономерный, плавный характер проиллюстрированных выше изменений будет наблюдаться и для других территорий нашей планеты. И фактические материалы этих наблюдений, проиллюстрированные здесь на примере крупного региона европейской территории России, подтверждают целесообразность их обработки предложенными в книге методами хронобиологического анализа.

На разработанной в данной книге методической основе удастся оценить статистическую достоверность, тесноту связи изучаемых фенологических показателей с периодом жизни растений, временной ход их изменений для любого изученного пункта, степень уязвимости растений в период изменения климата, а затем – уверенно интерполировать полученные данные на промежуточные ситуации всего изученного региона.

Реализация предлагаемой здесь концепции тотального хронобиологического анализа фенособытий у растений позволит быстро и без больших затрат наладить мониторинг фенологической уязвимости рас-

тительных систем крупных регионов. И на этой основе представится возможность определить степень уязвимости фенологических событий растительных систем на всей равнинной территории суши. Тем самым **удастся скорее выявить наиболее уязвимые растительные системы, своевременно откорректировать мероприятия по природопользованию и сохранению биоразнообразия, более успешно разработать адекватную программу экологической безопасности населения.** Но наряду с этим, на основе реализации концепции тотального хронобиологического анализа фенологии растений можно будет осуществлять непрерывную разведку в тылу такого грозного противника, как новый климат. На этой базе удастся обнаружить наиболее уязвимые регионы растительного покрова, более успешно и с меньшими затратами планировать детальные, стационарные исследования реакции растительных систем.

Концепция тотального хронобиологического анализа фенологии доминантов растительного покрова может быть уже в ближайшее время реализована совместными усилиями всех стран и притом с максимальной экономией труда и средств. Для выполнения такой работы, как убеждает в том богатый опыт российских исследователей и рассмотренный выше опыт хронобиологического анализа, не понадобится какого-либо дорогостоящего оборудования, лабораторий и подготовки высококвалифицированных специалистов-исполнителей. Методики сбора и обработки данных фенологических наблюдений за растениями общеизвестны, широко апробированы на практике и опубликованы во многих пособиях (Бейдеман, 1960, 1974; Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР, 1975; Зайцев, 1981; Фенологические наблюдения (организация, проведение, обработка), 1982 и др.). Поэтому здесь нет необходимости в компиляции их содержания. Важно лишь отметить, что в процессе организации данной работы для тотального хронобиологического анализа ее участники должны будут принять единую стандартизированную методику для получения сравнимых данных на межгосударственном уровне. А ключевые объекты тотального хронобиологического анализа фенособытий целесообразно определить также на межгосударственном уровне и с привлечением специалистов МГЭИК.

В число объектов тотального хронобиологического анализа фенособытий целесообразно включить не только растения природной флоры, но и окультуренных видов. В особенности тех видов растений, которые обеспечивают пищевую безопасность стран, а также их лекарственное и

техническое сырье. Это позволит уже на раннем этапе изменения климата увидеть временной ход изменений в растительном покрове. Даст возможность принять упреждающие меры по сохранению пищевых и технических ресурсов. Наблюдая и фиксируя достоверные существенные сдвиги фенофаз у доминантов природного растительного покрова и важнейших сельскохозяйственных растений, можно будет заранее и своевременно корректировать систему мероприятий по поддержанию биоразнообразия и продуктивности растений. Тем самым удастся ослабить последствия пагубного воздействия нового климата.

Но помимо научной ценности значение тотального хронобиологического анализа фенологии растений состоит еще и в его большой просветительской роли. Ведь тогда все население планеты будет более оперативно информировано о происходящих событиях в растительном мире и это существенно повысит его участие в борьбе за экологическую безопасность стран.

Заключение

Как можно было убедиться, глобальное изменение климата приведет к существенной разбалансировке растительных систем нашей планеты. Отсюда становится ясно, что необходим стационарный хронобиологический мониторинг широкого диапазона важнейших показателей жизнедеятельности растений. Поскольку такие хронобиологические исследования будут выполняться в динамике глобального изменения климата и связанного с ним функционирования растительных систем, они должны учитывать две стороны процесса. Во-первых, – фактор времени, который характеризует этап и длительность периода воздействия меняющегося климата. Во-вторых, – результаты изменения растительных систем за каждый период воздействия меняющегося климатического режима. Без такого хронобиологического анализа невозможно вести рациональное природопользование и сохранить биоразнообразие растительного покрова.

Разработанная и испытанная методологическая основа и алгоритмы статистических методов обработки материалов хронобиологического анализа, а также количественные критерии оценки уязвимости растительных систем в период изменения климата могут найти применение и при исследованиях растительных систем крупных территорий. Особенно актуален будет хронобиологический анализ при исследованиях планктонных растительных систем в большом диапазоне географической ши-

роты местности. Полученная в результате такого хронобиологического анализа информация крайне необходима для понимания уже происходящих сейчас изменений растительного покрова, а также для разработки и применения стратегии рационального природопользования в течение всей продолжительности периода глобального изменения климата.

Так как типично зональное выражение биоценозы имеют именно в условиях внутриконтинентальных плакоров, то хронобиологический анализ уязвимости плакорных растительных систем разных широт сегодня является одной из центральных проблем. Решение этой проблемы даже на примере одного крупного региона даст возможность понять общие для всех стран зональные закономерности изменения растительных систем в географических масштабах. В результате такой хронобиологический анализ позволит своевременно подготовиться к назревающей катастрофе растительного покрова, определить важнейшие направления для смягчения ее последствий и перестройки хозяйства, социальной политики, занятости населения, сохранения его здоровья, экологической и экономической безопасности стран.

В качестве приемлемого региона для исследований динамики растительных систем природных зон северных широт является Западно-Сибирская равнина. Уникальность этого региона на мировом уровне заключается в том, что продуктивность и другие характеристики представленных растительных систем, а также и определяющий их состояние температурный режим местности, закономерно и плавно меняются в очень крупном диапазоне географической широты местности. Притом значительная часть широтного спектра представленных здесь растительных систем северного полушария (зоны тундры, лесотундры, лесной, лесостепной и степной) пока еще сохранила свои природные закономерности формирования. Наряду с тем здесь же весьма широко представлены агрофитоценозы окультуренных растений, обеспечивающие продуктовую и экономическую безопасность многих стран. В их числе – плантации пшеницы, ржи, ячменя, овса, льна, бобовых, плодово-овощных, лекарственных, технических и других растений. А также множество интродуцированных видов растений привлеченных для зеленого строительства. Все эти агрофитоценозы с учетом их приуроченности к разной широте местности будут также важнейшими объектами хронобиологических исследований.

В пределах крупного объединенного широтного профиля территорий Западно-Сибирской равнины Российской Федерации и расположенных южнее равнинных просторов других республик бывшего

СССР можно будет проследить ход главных процессов изменения растительных систем в еще более широком диапазоне географических зон: на расстоянии свыше 6000км, от 40° до 80° с.ш. В нем будут представлены все имеющиеся природные зоны северного полушария: зона тундры, лесотундры, лесная, лесостепная и степная зона, зона полупустыни и пустыни. Наиболее эффективно и рентабельно хронобиологический анализ здесь может быть выполнен на базе сети исследовательских стационаров репрезентативно охватывающей весь широтный спектр географического разнообразия как природных, так и культурных растительных систем. Тогда можно будет ограничиться минимальным количеством стационаров. А экономичной работы такой сети стационаров удастся достигнуть за счет ее организации как системы, позволяющей интерполировать полученные результаты хронобиологического анализа на географические координаты местности расположенные между стационарами.

В период глобального потепления сеть системно функционирующих хронобиологических стационаров позволит отслеживать изменения многих важнейших показателей растительного покрова. В том числе емкости экологических ниш доминантов; движение генофонда; процесс естественного возобновления основного состава видов; биотические связи; физиологические и биохимические процессы у растений; их биологическую продуктивность, смещение территориальных границ растительных систем и многие другие показатели. Удастся получить статистически достоверные количественные оценки временного хода и скорости происходящих изменений этих показателей, а также степени уязвимости растительных систем по широтным градиентам местности. А путем интерполяции данных на координаты промежуточные между стационарами результаты их исследований будут аппроксимированы на всю территорию Западно-Сибирской равнины.

Статистически достоверно установленные количественные оценки устойчивости растительных систем в целом могут быть определены как интегральный результат частичных устойчивостей разных их частей. При этом удастся выяснить самые уязвимые показатели растительных систем для любого пункта наблюдений, количественно оценить степень близости уязвимости каждого наблюдаемого показателя к функциональной, учесть не только неблагоприятные, но и благоприятные воздействия в период изменения климата. Станет возможным отследить временной ход развития процесса уязвимости растительных систем, а также осуществить интерполяционный прогноз развития событий в пределах из-

учаемого экологического полигона. Все это можно будет сделать именно в режиме времени меняющегося климата и с учетом степени изменения климатообразующих факторов. Притом для любого вектора изменений – как в сторону потепления, так и похолодания.

Ввиду общемирового значения хронобиологического анализа уникального комплекса растительных систем Западно-Сибирской равнины будет целесообразно организовать здесь работу по международным программам с привлечением специалистов и средств заинтересованных сторон. Окупаемость такой работы очевидна, т.к. в ее результатах будут заинтересованы все страны северного полушария Земли. Но для такой организации усилий всех стран уже не достаточно только согласия ученых. Это становится политической задачей, требующей вложения существенных трудовых, финансовых затрат и международного сотрудничества.

Наряду с выполнением программы стационарных хронобиологических исследований широкого спектра показателей жизнеспособности растений целесообразно вести и менее затратный тотальный хронобиологический анализ фенособытий растений на уровне всех равнинных территорий нашей планеты. В пользу этого говорит исключительно высокая информативность, широкая доступность и реальная возможность применения фенологических наблюдений для целей тотального хронобиологического анализа важнейших изменений растительного покрова, а также объективной количественной оценки уязвимости растительных экосистем в период глобальной трансформации климата. Высокая информативность хронобиологического анализа фенологии растений позволяет очень оперативно и объективно судить об уязвимости растительных систем как совокупностей совместно обитающих видов. Притом исследовать это на основе количественных показателей, большого объема фактического материала, и, что особенно важно, – на уровне анализа функциональной зависимости происходящих изменений в период глобальной трансформации климата.

Реализация концепции тотального хронобиологического анализа фенособытий у растений позволит быстрее и с наименьшими затратами наладить мониторинг фенологической уязвимости растительных систем всей равнинной территории суши. Тем самым удастся скорее выявить наиболее уязвимые растительные системы, своевременно откорректировать мероприятия по природопользованию и сохранению биоразнообразия, более успешно разработать адекватную программу экологической безопасности населения.

В целом, как представляется, организация, сбор информации и обработка собранных материалов мониторинга растительного покрова должны обеспечить выполнение двух следующих основных вариантов хронобиологических анализа.

1. Краткосрочно – поэтапного хронобиологического анализа. Целью его будет оперативное исследование изменений растений путем обобщения материалов последовательных 8 – 12-летних периодов наблюдений за растениями. Такие хронобиологические наблюдения и их анализ дадут возможность своевременно обнаружить и отслеживать начало процессов глубинного изменения растительного покрова, их временной ход, скорость, а также величину происшедших изменений. Они будут своего рода разведкой, которая позволит ориентироваться в подготавливаемых кардинальных изменениях растительного покрова и предвидеть их результаты.

2. Длиннопериодного хронобиологического анализа. Этим анализом будут охвачены сроки равные длительности жизни имеющих доминантов растительного покрова, в течение которого они сохраняют способность к естественному самовосстановлению и продолжению существования в составе растительного покрова. Главной целью таких хронобиологических наблюдений будет выяснение генеральной картины движения границ растительного покрова, изменений биологической продуктивности и биоразнообразия растений в регионах. Но наряду с тем сохранит свое значение и решение комплекса задач планировавшихся п.1.

Подводя итоги сказанному можно заключить, что реализация возможностей хронобиологического анализа доминантов природного растительного покрова, а также основных сельскохозяйственных и технических растений позволит с наименьшими затратами средств и с достаточной полнотой выяснить закономерности изменения растительных систем основной части обитаемой суши нашей планеты. В такой работе смогут участвовать все государства, что позволит значительно повысить точность и достоверность результатов исследований, избежать вероятных ошибок. Вместе с тем ценность наблюдений каждого конкретного пункта многократно возрастет, так как он будет обслуживать не только ту точку, в которой находится, но и всю систему сети наблюдений. За счет кооперации существенно снизятся и затраты государств – участников общей программы хронобиологического анализа. Преемственность и достаточная длительность наблюдений в каждом конкретном пункте дадут возможность наиболее эффективно применить рассмотренную во

второй главе методологическую основу и на этой базе объективно с помощью статистических методов определить насколько изменения растений имеют выраженный функциональный характер. С учетом таких оценок и уровня их статистической достоверности удастся получить необходимые знания для уверенной разработки карт, где будут отражены результаты изменения растений в период глобальной трансформации климата. Представится возможным отслеживать степень уязвимости растительных систем земной суши, выяснить временной ход происходящих изменений, оценить их опасность и прогнозировать вероятные направления дрейфа структуры, биологической устойчивости и продуктивности, а также видового состава растительного покрова.

ГЛАВА 5. **ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА В ГОРАХ**

Наряду с хронобиологическим анализом уязвимости растительных систем равнинных территорий, не меньшее внимание должно быть уделено и хронобиологическим исследованиям горной растительности. Ведь горы занимают пятую часть поверхности суши Земли. В них сосредоточены огромные богатства генофонда растений и центры происхождения их видового разнообразия. Здесь представлена значительная часть лесного фонда и сосредоточены уникальные запасы сырьевых растительных ресурсов. Растительность гор насыщена эндемичными и краснокнижными видами растений. Она выполняет почвозащитную, водоохранную, водорегулирующую, противоселевую, противолавинную и противоэрозионную функции. Является местообитанием богатейшего генофонда многих видов диких животных и пастбищными угодьями животноводства. Имеет важное рекреационное значение и как объект туризма. Но по причине трансформации климата и здесь уже начинают интенсивно развиваться коренные изменения растительности (см. рис.6 и материалы ОД, том 2. 2008). **Все это настоятельно требует выполнения хронобиологических исследований уязвимости горных растений на таком уровне, чтобы полученные результаты позволяли гарантировать их сохранение и рациональное природопользование при изменении климата.**

Однако, если в условиях плакора (см. пример Западно-Сибирской равнины рассмотренный выше) по данным 6-7 ключевых объектов можно выяснить хронобиологические закономерности изменения растительных систем на территории до 3 млн. км² общей протяженностью в широтном направлении более 2500км, то в горах такое решение – задача совершенно нереальная. **В отличие от равнин в горных условиях результаты хронобиологических исследований не могут быть аппроксимированы для обширных территорий.**

Типичные для гор тенденции дифференциации общеклиматического фона местности проиллюстрируем здесь на примере анализа результатов наблюдений сети государственных метеостанций центральной части хребта Заилийский Алатау в Северном Тянь-Шане (Проскуряков, 1983), выполненного на основе материалов сводки «Агроклиматический справочник» (1967). В этом месте хребет Заилийский Алатау представляет собой высокий передовой барьер на пути северных и северо-западных влагонесущих воздушных масс.

Выяснилось, что с увеличением абсолютной высоты местности **температура воздуха в течение вегетационного периода** понижается относительно равномерно (рис. 43). Наиболее теплые месяцы — июль и август. Однако, если в этот период среднемесячная температура у нижних высотных границ лесов (980м над ур. м.) составляет около $+22^{\circ}$, то близ верхних высотных пределов их распространения (2800м над ур. м.) она снижается до $+9^{\circ}$, т. е. в два с лишним раза.

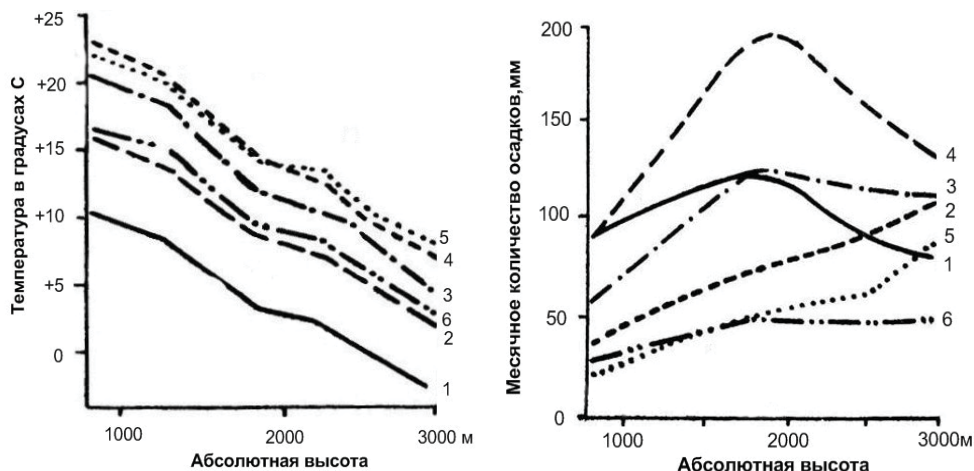


Рис. 43. Изменение среднемесячной температуры воздуха и распределение атмосферных осадков по месяцам и абсолютным высотам в центральной части хребта ЗаилийскийАлатау.

Обозначения : 1 — апрель, 2 — май, 3 — июнь, 4 — июль, 5 — август, 6 — сентябрь

В тесной связи с изменением абсолютной высоты местности находится и количество выпадающих осадков (рис. 43). Однако распределение их по месяцам и абсолютным высотам носит иной характер, чем для температуры воздуха. В апреле, июне, июле количество осадков увеличивается в пределах абсолютных высот местности до 2000м над уровнем моря. Например, в июле у нижних границ распространения лесов выпадает около 80мм осадков, а на высоте 2000м — 200мм. Выше 2000м количество выпадающих в эти месяцы осадков снижается. В мае же, августе и сентябре количество осадков тем больше, чем выше абсолютная высота местности. Притом с повышением местности оно может возрастать более чем вдвое.

Таким образом, как можно было убедиться, абсолютная высота местности очень существенно корректирует исходный общеклиматический фон, обусловленный глобальным распределением климата. Но наряду с тем, **исходный общеклиматический фон горной местности очень сильно дифференцируется и рельефом поверхности горных склонов.** В пределах указанных географических координат местности Северного Тянь-Шаня это наглядно иллюстрирует диаграмма рис.44, выполненная с учетом материалов местных метеостанций (Справочник по климату СССР, 1967) и разработанных Л. И. Шалатовой (1956) коэффициентов перевода прямой солнечной радиации на различно ориентированные склоны (Проскураков, 1979б, 1983).

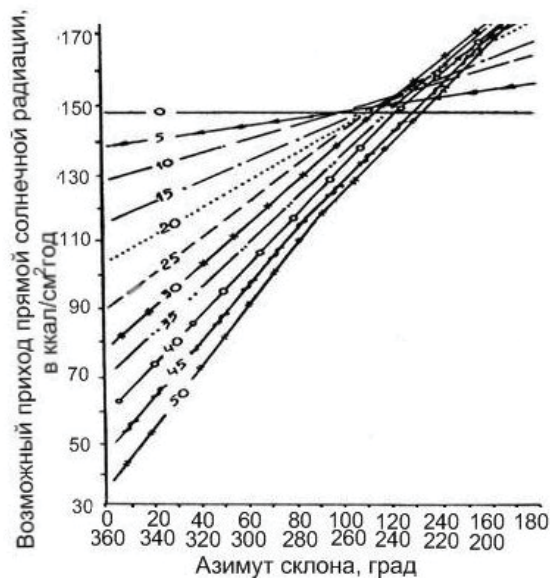


Рис. 44. Возможный годовой приход прямой солнечной радиации на различно ориентированные склоны Северного Тянь-Шаня. (Крутизна склонов указана в разрывах линий).

Как видим, суммы поступающей на склоны прямой радиации варьируют в очень широких пределах в зависимости от их ориентации и крутизны. Например, на чисто северных склонах при изменении их крутизны от 0° до 50°, различия в поступлении прямой солнечной радиации превышают четырехкратную величину (рис.44). Притом вариабельность радиационного режима склонов различной экспозиции намного перекрывает таковую по абсолютной высоте местности (Проскураков, 1983). Насколько существенна роль радиационного режима, можно су-

доть уже из того, что в горах поверхность склонов уже на уровне микро-рельефа ориентирована очень разнонаправлено. Соответственно здесь имеет место и огромное разнообразие режима солнечной радиации.

Вследствие сопряженного влияния перечисленных выше факторов действующих в сочетании с другими геофизическими и геохимическими факторами возникает исключительно широкий спектр изменчивости среды обитания растений и связанной с этим градиентной дифференциации растительного покрова. При этом **среда обитания растений в горах меняется непрерывно, на небольших расстояниях и в очень широком диапазоне**. По этим причинам происходит быстрая смена видового состава растений и их продуктивности. Чтобы убедиться в том, достаточно обратить внимание на рис.45, где наглядно видно, что существенные отличия растительного покрова у склонов разной ориентации могут проявляться даже на расстоянии всего лишь одного шага.



Рис.45. Распределение состава травянистой растительности в зависимости от инсолируемости склонов. Справа типчаковая ассоциация (южный склон). Слева – злаково-разнотравный субальпийский луг (северный склон). Ущелье реки Левый Талгар. Хребет Заилийский Алатау. Алма-Атинский заповедник. 2700м над уровнем моря. Июль 1968г.

Колоссальное разнообразие растительного покрова Северного Тянь-Шаня настолько характерно, что даже в названии хребта Заилийский Алатау здесь присутствует меткое слово «алатау», которое с казахского языка переводится как «пестрые горы». Такая пестрота, обусловленная разнообразием условий обитания растений, констатировалось и ранними исследователями. По заключению академика Б.А.Быкова (1950) **разнообразие климата и растительности в поясе лесов Северного Тянь-Шаня, который занимает всего-то около 1,5 – 2км по высоте, сравнимо с таковым для России на протяжении территории от Черного до Белого моря.** И. Г. Серебряков (1945) акцентирует особое внимание не только на исключительном разнообразии растительного покрова Северного Тянь-Шаня, но и на большой сложности анализа этого явления. Он писал, что для понимания дифференциации растительного покрова в горной местности «учет комплекса прямодействующих факторов представляет в настоящее время непреодолимые затруднения, так как, во-первых, мы не можем учесть все прямодействующие факторы и, во-вторых, мы еще меньше можем оценивать их во взаимодействии и их комплексном влиянии на фитоценоз». Но, как отмечал далее И. Г. Серебряков, и «одновременный учет всех косвеннодействующих факторов при их взаимной замещаемости очень труден и делает **практически невозможным построение простой и стройной типологической схемы**, основанной на их комплексном взаимодействии» (Серебряков, 1945, с. 140, 141). В дальнейшем сходные с этими мысли высказывались и многими другими авторами. **Сложность и многообразие горных лесов более чем наглядно подтверждается также многократно повторявшимися попытками решить для Тянь-Шаня проблему лесной типологии** (Дзенс-Литовская, 1933; Родин, 1934а, б; Серебряков, 1945; Быков, 1950, 1985; Ролдугин, 1989).

Насколько велико разнообразие структуры растительного покрова гор наглядно видно на примере главной лесообразующей породы темнохвойных лесов – ели Шренка (*Picea schrenkiana* Fisch. Et Mey.). В Заилийском Алатау эта порода участвует в формировании растительного покрова, начиная с 1200м до 2950м над уровнем моря, но леса формируется в пределах абсолютных высот от 1500м до 2700м (рис.46).

По фотографии (рис. 46,) легко убедиться, что лесообразующая роль ели Шренка исключительно широко варьирует в зависимости от экологических координат и величины заселяемой ею площади. Это же можно констатировать и для всех других древесных пород распространенных в Заилийском Алатау: осины (*Populus tremula* L.), рябины (*Sorbus tianschanica* Rupr.), яблони (*Malus sieversii* (Ldb.)M. Roem.), боярышника (*Crataegus almaatensis* Pojark.; *Crataegus songorica* C.Koch.), абрикоса (*Armeniaca vulgaris* Lam.) и прочих видов (рис.47).

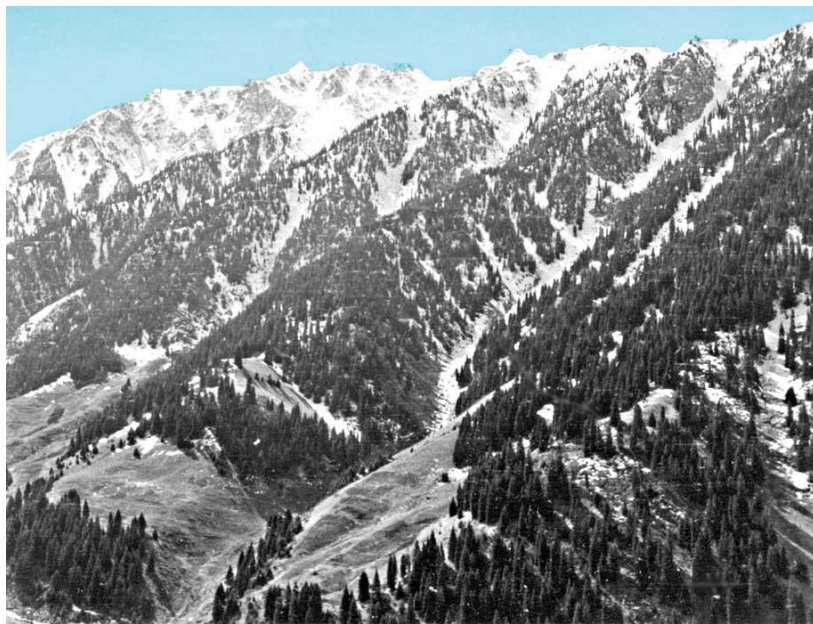


Рис.46. Общий вид еловых лесов бассейна реки Правый Талгар. 1900 – 3000 м над уровнем моря. Хребет Заилийский Алатау. Алма-Атинский заповедник.



Рис.47. Смешанные плодовые и хвойно-лиственные леса Алма-Атинского заповедника. Август 2009 г.

Всею совокупностью перечисленных выше обстоятельств и создаются отмеченные многими исследователями **непреодолимые препятствия для успешного решения задачи уверенного ориентирования в мозаичности растительного покрова на принципах классификации типов сообществ**. Отсюда возникла необходимость поиска решения проблемы на основе альтернативной принципу классификации сообществ.

Такое альтернативное решение проблемы оказалось возможным на базе **градиентного анализа**, который для равнинных условий начал разрабатываться еще Л.Г.Раменским (1938), его учениками и последователями. Разработанные ими методология и методы этого направления основывались на использовании самих растений, как индикаторов среды их обитания. На той же основе предпринималась попытка решения данной задачи и для горных районов (Соболев, 1978). Но в горах это не нашло широкого применения из-за исключительной пестроты и быстрой смены условий обитания растений.

В целом **развитие градиентных исследований горных растительных систем шло в двух направлениях**. С одной стороны, - в направлении исследования главных, генеральных тенденций (трендов) климатогенной изменчивости растительного покрова в пределах крупных горных хребтов различных горных систем. Например, – Тянь-Шаня, Саян, Сихоте-Алиня, Грейт-Смоки-Маунтинс, Сискийу, Санта-Каталина и др. (Медведев, 1975; Садовничая, Чебакова, 1978; Садовничая, 1978; Чебакова, 1978; Уиттекер, 1980; Выгодская, 1981; Парамонов, Терехов, 2010; Кокорева, 2011а,б; Кокорева, Лысенко, 2011). А с другой, – в направлении исследования и детализации длительно-устойчивых закономерностей горизонтальной дифференциации растительных систем на уровне каждого конкретного крупного ущелья (Проскуряков, 1965÷ 1999).

В результате совместных исследований Е.А.Садовничей и Н.М.Чебаковой (Садовничая, Чебакова, 1978) на примере гор Западного Саяна было установлено, что каждому типу высотно-поясного комплекса растительности соответствуют вполне определенные значения соотношения тепла и влаги, выраженные через радиационный индекс сухости. Н.М.Чебаковой (1978) определены зависимости роста основных древесных лесообразующих пород Сибири от гидротермических и радиационных факторов горного климата. А Е.А.Садовничей (1978, 1980) выполнены специальные исследования и расчеты сумм радиации, приходящей на различно ориентированные склоны Западного

Саяна. При этом она констатирует то важное обстоятельство, что **все расчеты сумм радиации на склоны относятся к открытым, полубесконечным склонам**. И что **в реальных условиях горной местности большое влияние на приход радиации оказывает затенение склонами окружающих гор**. Из-за различной степени закрытости горизонта приход радиации в условиях котловин и долин различной ориентации сильно отличается. В данной связи для его анализа в горах она предлагает вводить **поправочные коэффициенты**, которые **рекомендует рассчитывать как усредненные для совокупности хребтов всей горной системы**.

Определенным вкладом в решение проблемы градиентного анализа горных лесов является и фундаментальная работа Н.Н.Выгодской (1981), выполненная на примере крупных горных хребтов Тянь-Шаня, Саян и Сихоте-Алиня. Но **главным направлением ее исследований было изучение роли горных растительных сообществ в преобразовании ими поступающей солнечной радиации**. Поэтому основное внимание автора сосредоточено на ярусной, вертикальной структуре растительного покрова **в местообитаниях с оптимальными для произрастания лесной растительности условиями** тепло- и влагорежима. В аспекте же проблемы дифференциации радиационного режима здесь важно отметить вывод Н.Н.Выгодской о том, что в течение теплого периода в горных условиях создаются такие пространственные различия в приходе радиации к растительному покрову на разных склонах одной долины, которые в десятки и сотни раз превышают различия для равнинных территорий удаленных друг от друга на аналогичное расстояние.

Р.Уиттекером (1980) же, в отличие от Н.Н.Выгодской, **главное внимание уделялось исследованиям основных климатогенных тенденций именно распределения растительного покрова в горах**. По результатам градиентного анализа размещения растительных сообществ в горах Сийскийу (штат Орегон), Санта-Каталина (штат Аризона) и Грейт-Смоки-Маунтинс (штат Висконсин) им было предложено учитывать в качестве основных детерминирующих факторов высоту над уровнем моря и топографическое увлажнение склонов. На базе применения такого подхода Р.Уиттекер (1980) показал, что растительность гор может быть ординирована в зависимости от высоты над уровнем моря и степени увлажнения склонов. Им были построены схемы, с помощью которых он проиллюстрировал, что пространственное разнообразие растительности гор, жизненных форм доминантных видов и их биологическая продуктивность отражают изменения условий увлажнения по

мере подъема в горы. При этом смена жизненных форм происходит непрерывно. В направлении от высоких уровней к низким сменяют друг друга хвойные породы, склерофильные деревья с примесью вечнозеленых склерофилов и розеточных кустарников, злаки, колючие кустарники и полукустарники пустыни. Работа на уровне схем распределения растительных систем дала Р.Уиттекеру возможность выявить главные климатогенные тенденции распределения растений в горах.

Важность исследования общих для гор экологических тенденций (трендов) изменчивости растительного покрова находит свое подтверждение и в ряде других работ, как более ранних (Серебряков, 1945; Голоскоков, 1949; Быков, 1950), так и современных авторов (Парамонов, Терехов, 2010; Кокорева, 2011а,б; Кокорева, Лысенко, 2011). Все эти исследования, выполненные на уровне крупных хребтов разных горных систем, существенно углубили, подтвердили и дополнили представление о необходимости решения задачи именно градиентного анализа растительного покрова гор. Но вместе с тем по мере развития таких исследований становилось все более ясно, что для применения градиентного подхода необходима весьма высокая конкретизация наших знаний. То есть **требовалось достичь такого уровня конкретизации знаний о градиентной дифференциации растительного покрова гор, который был бы достаточен для их уверенного применения и минимизировал вероятность грубых ошибок в практике природопользования.**

В процессе многолетних исследований (Проскуряков, 1965-1986) выяснилось, что *каждое крупное горное ущелье имеет свои индивидуальные закономерности горизонтальной дифференциации растительных систем.* Это зависит от ориентации ущелий относительно основного глобального направления движения воздушных масс несущих тепло и влагу. Степени закрытости ущелья своими и соседними склонами. Наличия или отсутствия близко расположенных вечных ледников и снежников, с которых стекающие охлажденные массы воздуха корректируют температурный режим расположенной ниже территории (рис.13). Влияния близкорасположенных крупных интенсивно прогреваемых равнинных территорий и даже высоты и массы гор, формирующих ущелье, аккумулирующих и перераспределяющих затем накопленное тепло и холод. **Одинаковых, даже двух соседствующих крупных ущелий, нет. Поэтому учет роли комплекса прямодействующих факторов здесь потребовал бы колоссального количества метеостанций, большого числа лет их наблюдений и огромных материальных затрат. Но,**

даже и имея такие данные, для их применения понадобилось бы, затем, знать конкретную климатическую характеристику местообитания каждой растительной системы, что совершенно нереально. Выходом из этого положения является учет роли косвеннодействующих факторов. Но тогда ***решение проблемы конкретизации знаний о градиентной дифференциации растительного покрова гор возможно только на уровне крупных ущелий, а не их объединений в горные системы или даже отдельные хребты.*** Иного выхода нет. ***Любая попытка распространить сведения о градиентном режиме одного крупного ущелья на целый горный хребет, а тем более, – на всю горную систему, приведет к грубым ошибкам, как в понимании истинной картины мозаичности растительного покрова, так и в природопользовании.*** Именно поэтому в качестве главного направления для решения проблемы необходимой конкретизации знаний о градиентной дифференциации растительного покрова гор и были предприняты исследования на уровне крупных горных ущелий.

Примерами крупных ущелий могут служить такие ущелья Северного Тянь-Шаня, где формируются бассейны крупных горных рек. Это ущелья рек Тургень, Иссык, Правый Талгар, Левый Талгар, Малая Алматинка, Каскелен. На уровне подобных крупных ущелий автором и был накоплен опыт градиентного анализа дифференциации растительного покрова и основных закономерностей пространственного размещения доминантов растительных систем Северного, Центрального, Западного Тянь-Шаня и Рудного Алтая. Была изучена роль косвеннодействующих факторов – абсолютной высоты местности, а также крутизны и ориентации поверхности склонов (Проскуряков, 1965; 1967; 1971а,б; 1972; 1973а,б). Исследовано распределение прямой солнечной радиации в горных лесах и проведено экспериментальное изучение реакции растений на разнообразие среды в горах (Проскуряков, 1971в; Проскуряков, Хомулло, 1973). Разработана теоретическая основа и методика анализа размещения лесных доминантов в зависимости от абсолютной высоты, азимута, крутизны склонов и возможного прихода прямой солнечной радиации (Проскуряков, 1973а,в; 1974; 1977; 1978; 1979б,в), а также методика оценки естественного возобновления лесных доминантов, учитывающая горизонтальную структуру горных лесов (Проскуряков, 1975; 1979а,б; Основные положения ведения лесного хозяйства Алма-Атинской области, 1985; 1994). В дальнейшем материалы выполненных исследований составили научно-методическую основу докторской диссертации и двух книг (Проскуряков, 1982, 1983; Проскуряков, Пусурманов, Кокорева, 1986).

В аспекте рассматриваемой здесь проблемы количественного хронобиологического анализа растительных систем на уровне крупных горных ущелий необходимо отметить следующие основные результаты, полученные на материалах упомянутых выше исследований растительного покрова гор Тянь-Шаня и Рудного Алтая.

1) Каждое крупное горное ущелье имеет свои индивидуальные особенности мозаичности горизонтальной структуры растительного покрова детерминированные дифференциацией условий обитания растений.

2) На уровне каждого крупного ущелья можно выяснить длительно-устойчивые количественные закономерности природного варьирования обилия растений доминантов путем репрезентативного обследования местности и анализа связи встречаемости (обилия) доминирующих видов растений с экспозицией микросклонов и абсолютной высотой местности. А на основе этих материалов удастся построить эмпирические шкалы размещения доминантов. При таком индивидуальном для каждого крупного ущелья подходе к решению задачи градиентного анализа, в силу конкретной территориальной привязки, построенные эмпирические шкалы размещения доминантов учитывают влияние следующих факторов:

- дифференциацию условий обитания растений, детерминированную распределением солнечной радиации на различно ориентированные поверхности и режимом затенения склонов специфическим для каждого конкретного ущелья;

- дифференциацию условий обитания растений связанную с охлаждающим влиянием рядом расположенных вечных ледников и снежников, степенью открытости и ориентацией ущелий относительно направления глобального движения и региональной горно-долинной циркуляции влаго- и теплонесущих воздушных масс;

- связанную с абсолютной высотой дифференциацию перераспределения атмосферного тепла и влаги, разнообразия почв, поверхностного и внутрипочвенного стока влаги.

В результате действия перечисленных факторов создается устойчиво и длительно существующая матрица размещения доминантов растительного покрова. Ее устойчивость обусловлена наличием постоянного, длительного, тысячелетиями детерминирующего и дифференцирующего сопряженного воздействия рельефа склонов, высотной поясности и трансформируемого ими общеклиматического фона соответствующего географическому положению местности.

3) В итоге градиентного анализа удастся получать адекватные и удобные для работы эмпирические шкалы размещения доминантов в системе координат абсолютной высоты местности, крутизны и азимута склонов (или рассчитанной по ним инсолируемости поверхности склонов). **Построенные эмпирические шкалы (рис.48) отражают длительно-устойчивые количественные закономерности размещения доминантов. Они могут применяться без дополнительной корректировки многие века, пока не изменится климат.**

4) **Эмпирические шкалы встречаемости лесообразующих пород с вероятностью 95÷99% отражают имеющие место природные закономерности, что удовлетворяет требованиям прикладных и научных исследований.** Это подтвердилось и проверкой результатов исследований, выполненной Казлеспроектом по заданию Министерства лесного хозяйства Казахской ССР в горах Тянь-Шаня и Рудного Алтая (см. Основные положения организации и развития лесного хозяйства Восточно-Казахстанской области, 1977,с.373; Основные положения ведения лесного хозяйства Алма-Атинской области, 1985,с.458-467; 1994, с.429-433).

Если эмпирические шкалы строятся с учетом градиентов возможного годового прихода прямой солнечной радиации, то это дает преимущества в отношении их компактности и наглядности. Но при таком решении задачи в определенной степени нивелируются температурные отличия восточных от западных склонов. Ведь западные склоны нагреваются сильнее, чем восточные, за счет суммарного действия прямой солнечной радиации и послеполуденного прогрева воздуха. Для того чтобы автоматически учесть и эту особенность анализ встречаемости доминантов можно выполнить не по градиентам возможного годового прихода прямой солнечной радиации, а по градиентам азимута и крутизны склонов. Методика такого исследования опубликована (Проскураков, 1973, 1978).

Разработанные методики градиентного анализа, а также построенные эмпирические шкалы встречаемости доминантов растительного покрова в горах дают необходимую научную основу и для решения важнейших задач хронобиологических исследований в период изменения климата. В этом аспекте они позволяют решать задачи выбора ключевых объектов для хронобиологических наблюдений, задачи интерпретации полученных результатов хронобиологического анализа и задачи прогнозирования возможных изменений в поведении растительных систем путем интерполяции полученных данных хронобиологического анализа в пределах каждого охваченного исследованиями экологического полигона.

На основе эмпирических региональных шкал встречаемости горных доминантов растительных систем автором была **разработана и испытана методика подбора и исследования постоянных ключевых пробных площадей** (Проскуряков, Пусурманов, Кокорева, 1986). А в дальнейшем была разработана и апробирована в период начавшегося интенсивного изменения климата и научно-методическая основа хронобиологического анализа на ключевых объектах (см. главу 2). И уже накопленный опыт всех этих исследований дает уверенность в том, что **с помощью сопряженного применения разработанных методов градиентного и хронобиологического анализа можно количественно и статистически достоверно определять временной ход изменений и степень уязвимости показателей растительных систем в период трансформации климата в горах** (Проскуряков, 2010а,б; 2011в).

Становится ясно, что *в период изменения климата в горной местности необходимые результаты даст только именно сопряженный градиентный и хронобиологический анализ растительных систем, выполненный на уровне крупных горных ущелий*. Поэтому здесь уместно проиллюстрировать возможности такого анализа на конкретных объектах. И в данной связи вначале рассмотрим результаты градиентного анализа встречаемости доминантов естественно формирующегося растительного покрова крупных ущелий хребта Заилийского Алатау (Северный Тянь-Шань) расположенных в Алма-Атинском заповеднике и на территории Иле-Алатаусского национального парка.

Материалы по Алма-Атинскому заповеднику собраны в крупном ущелье р. Правый Талгар (хребет Заилийский Алатау) за тот период, когда общеклиматический фон местности еще не менялся, т.е. до 1975 года. В этом ущелье формируются леса с участием ели Шренка (*Picea schrenkiana* Fisch. Et Mey.), осины (*Populus tremula* L.), абрикоса (*Armeniaca vulgaris* Lam.), яблони (*Malus sieversii* (Ldb.) M. Roem.) и др. (рис.46, 47). Детальное описание методики и анализ исходного материала исследований даны в специальной работе (Проскуряков, 1983). Поэтому подробно на этом здесь останавливаться не будем. Отметим лишь, что при обследовании макросклонов бортов крупного ущелья через каждые 100 метров над уровнем моря прокладывались горизонтальные ходы длиной 6-7км, которые охватывали все варьирование изгибов рельефа и разнообразие их бокового отенения соседними склонами и бортами данного ущелья. На каждом таком горизонтальном ходе последовательно в случайном порядке закладывалось до 800 круговых учетных площадок размером 16 м² (4,5 м в диаметре), близким площади

занимаемой проекцией кроны взрослого дерева растущего в сомкнутом насаждении. При описании учетных площадок измерялся азимут и крутизна их поверхности. Фиксировалось наличие и видовая принадлежность имеющихся на учетной площадке доминантных и сопутствующих растений.

Построенная градиентная шкала для ущелья р. Правый Талгар представлена на рис. 48. Слева по оси ординат этой градиентной шкалы отложена абсолютная высота. Снизу по оси абсцисс указана величина возможного годового прихода прямой солнечной радиации. В центре каждой клетки шкалы даны величины встречаемости (в процентах) лесообразующих пород, вычисленные как доля занятых ими учетных площадок. Эти величины встречаемости соответствуют координатам центра клетки. Изолиниями обозначен класс бонитета деревьев ели Шренка.

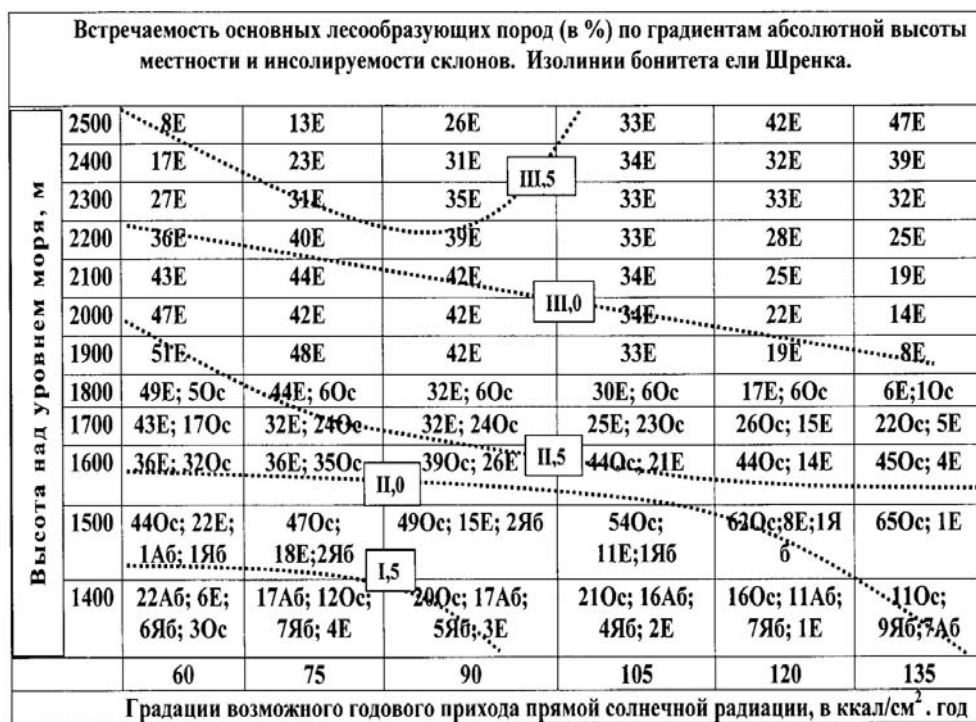


Рис 48. Эмпирическая шкала встречаемости лесообразующих пород в ущелье Правый Талгар. Центрально – Заилийский лесорастительный район Тянь-Шаня. Алма-Атинский заповедник. (цит. по Проскурякову, 1983). Пояснения в тексте.

Условные обозначения: Е – ель; Ос – осина; Аб – абрикос; Яб – яблоня. Пунктиром показаны изолинии бонитетов древостоев ели.

При проверке построенной эмпирической шкалы выяснилось, что средние отклонения оценок фактической встречаемости доминантов (в контроле) от рассчитанных по шкале оказались несущественными на 1%-м уровне значимости (Проскуряков, 1983).

Для наглядности и удобства анализа далее предлагаются диаграммы, построенные по материалам шкалы рис.48. Они иллюстрируют зависимость встречаемости главного доминанта темнохвойных лесов (*Picea schrenkiana* F. et M.) от высоты местности и инсолируемости склонов. На левой диаграмме рис.49 показана встречаемость ели в двухмерном пространстве координат, а на правой – то же самое в трехмерном пространстве. Здесь встречаемость лесообразующей породы отложена по вертикали, высота местности читается на правой стороне куба, а возможный годовой приход прямой солнечной радиации – вдоль его левого края. Поверхность регрессии встречаемости дает более наглядное представление об эффекте совместного влияния изучаемых факторов на встречаемость лесообразующей породы.

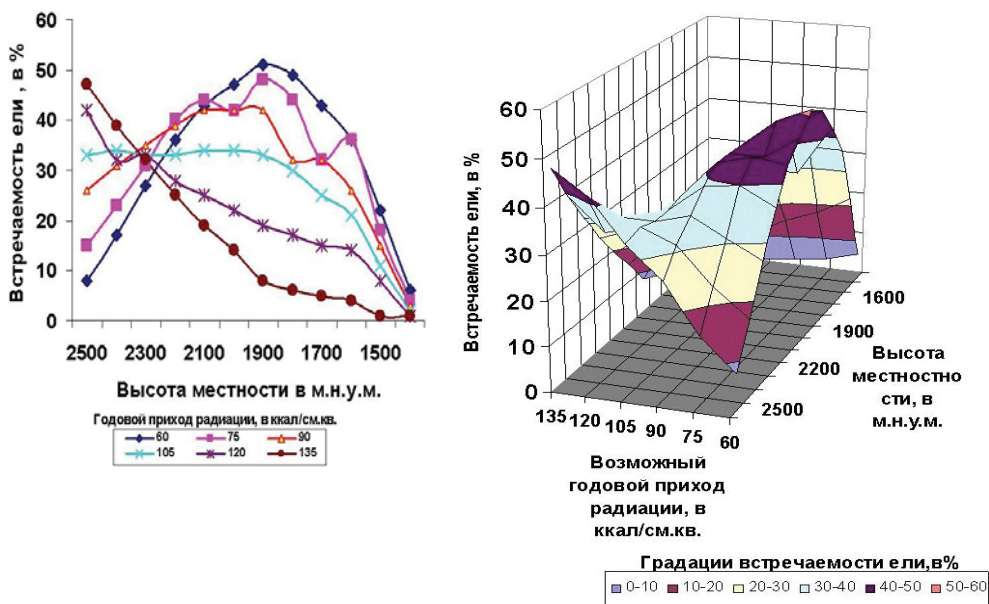


Рис.49. Диаграммы встречаемости ели Шренка (*Picea schrenkiana* F. et M.) в зависимости от высоты местности и инсолируемости склонов ущелья Правый Талгар хребта Зайлийского Алатау. Слева – линии регрессии, справа – поверхность регрессии.

Выполненный градиентный анализ обилия лесообразующих пород и построенные на его основе диаграммы иллюстрируют следующее.

При характерном для данных географических координат исходном общеклиматическом фоне местности размещение доминирующей лесообразующей породы отражает сложный и пестрый континуум хорошо приспособленных к среде обитания климаксовых сообществ. Ценопопуляции лесообразующих пород занимают различное положение по градиентам среды обитания. При этом обилие каждой лесообразующей породы может варьировать в очень широких пределах в зависимости от состояния действующих факторов среды обитания. А сама связь встречаемости лесообразующей породы с градиентами среды обитания носит выраженный нелинейный характер.

Наиболее продуктивные леса ель Шренка формирует при бонитетах среднего II, 5 ÷ III класса в пределах абсолютных высот 1800÷2100 м над уровнем моря и притом **на слабо инсолируемых северных склонах** (рис.48,49,50). Однако в границах верхних высотно-климатических поясов продуктивность ельников повышается уже не на северных, а **на хорошо прогреваемых южных склонах** (рис.49).



Рис.50.Высокополнотный еловый лес.
Июнь 1969 г.

В диапазоне 1700 ÷ 1900м.н.у.м. и у верхних границ обитания ели (см., например, 2400 ÷ 2500м.н.у.м.) фактор инсолируемости склонов действует весьма существенно, причем сопряженно с высотно-климатической поясностью. Наибольшая встречаемость ели Шренка (40-60%) наблюдается на слабо инсолируемых крутых северных склонах в границах высотно-климатического пояса 1700 ÷ 2000м.н.у.м. Также она велика и на высоте 2400-2500м.н.у.м., но уже на хорошо инсолируемых склонах южной ориентации. **А на высотах 1400 и 2300м.н.у.м. находятся области равнодействия состояний фактора режима инсоляции склонов.** Здесь встречаемость ели независимо от инсолиру-

емости склонов определяется, главным образом, высотно-климатической поясностью.

Вся совокупность представленных лесообразующих пород наиболее полно заселяет территорию в пределах абсолютных высот 1600÷1700 м над уровнем моря, где формируются в основном смешанные леса (рис. 48, 49). Насаждения с участием ели и осины (рис.48) размещаются на склонах крутизной от $5^{\circ} \div 10^{\circ}$ до 50° , ориентированных как на север, восток, запад, так и на юго-восток, юго-запад. Там, где ель формирует продуктивные леса (по северным склонам крутизной $40\text{--}50^{\circ}$ на высоте 1900÷1950 м над ур. м.), она занимает более 50% площади и образует насаждения II,5 класса бонитета. Осина же здесь участвует лишь как примесь и встречается всего на 5% площади насаждений. Со снижением абсолютной высоты до 1550м на склонах этой ориентации бонитет древостоев ели увеличивается до II,0 класса. Но вместе с тем доля участия ели снижается, а осины увеличивается, и обе эти породы заселяют площадь уже в одинаковом соотношении — 32÷36% встречаемости. На высоте 1500м над уровнем моря бонитет ели возрастает до I,5. Однако здесь она встречается уже лишь на 22% площади насаждений, а осина занимает до 44%. Причем от северных склонов к юго-восточным и юго-западным доля участия ели в формировании насаждений снижается до 1—8%. И это при наличии высокого класса ее бонитета.

В отличие от ели Шренка наиболее продуктивные осиновые леса формируются на юго-восточных и юго-западных склонах крутизной $40\text{--}50^{\circ}$ в нижней части лесного пояса. Так, на 1500м над уровнем моря встречаемость осины в насаждениях достигает 65%, а ели — лишь 1% (рис.48).

В целом с учетом характера изменения естественного соотношения осины и ели и их встречаемости в насаждениях можно констатировать следующее. Елово-осиновые леса (с преобладанием ели) формируются на высоте 1900м по склонам северной, восточной и западной ориентации крутизной от 15° до 50° . С понижением высоты (до 1500—1600м) елово-осиновые насаждения встречаются только на крутых ($30^{\circ} \div 50^{\circ}$) склонах северной, северо-восточной и северо-западной ориентации. По всем остальным склонам осина занимает главенствующее положение. Отсюда становится ясно, что в описанных выше ситуациях **построенные региональные шкалы встречаемости пород отражают четко выраженное смещение фитоценотического и экологического оптимумов** ели Шренка и осины.

Объективным подтверждением такого факта смещения оптимумов может служить высокий бонитет у ели в нижней части лесного пояса

и в то же время ее незначительное участие в формировании древостоев. Данное явление объясняется тем, что здесь ель Шренка вытесняется конкурентно более мощным доминантом, что можно проиллюстрировать материалами рис.51, который был выполнен на основе данных ранее рассмотренной эмпирической шкалы встречаемости лесообразующих пород (рис.48). Для удобства восприятия на этих диаграммах встречаемость лесообразующих пород по каждому экологическому адресу показана столбиками.

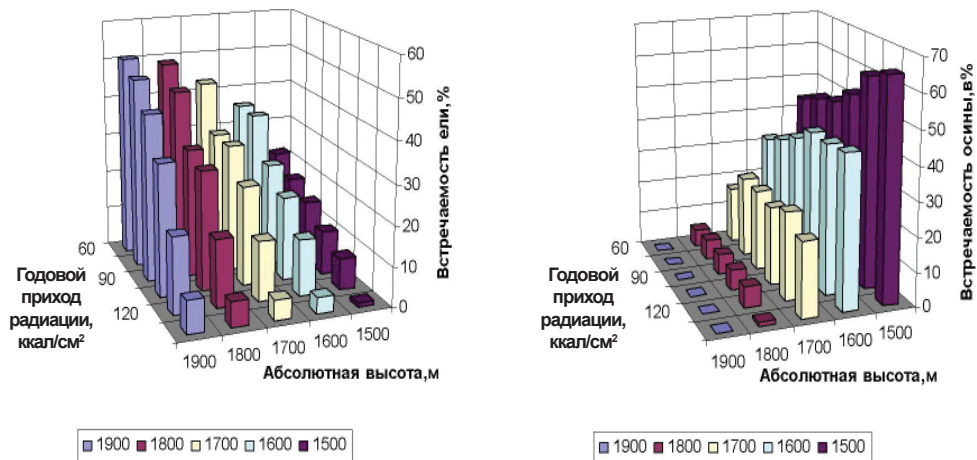


Рис.51. Встречаемость ели (левая диаграмма) и осины (правая диаграмма) в лесном поясе ущелья Правый Талгар.

Материалы градиентной шкалы встречаемости лесообразующих пород и построенные по ним диаграммы (рис.48,51) свидетельствуют о фактах совпадения экологического оптимума для осины и ели на абсолютной высоте 1500м. В отношении ели это подтверждается ее высоким бонитетом, а осины – ее высокой встречаемостью. Но ель здесь не может конкурировать с осиной и потому осина преобладает на склонах любой ориентации. Так, например, если максимальная встречаемость ели не превышает 20%, то у осины она достигает 65%. С подъемом в горы конкурентные потенции обоих видов начинают постепенно выравниваться. Начиная с абсолютной высоты 1700м, ель уже становится конкурентно более сильной. А на высотах 1800 – 1900 метров осина совсем сдает свои позиции, оставаясь лишь как примесь в составе чистых ельников, которые здесь занимают господствующее положение. Сравнивая эти две диаграммы (рис.51) можно образно представить себе, что по

каждой комбинации абсолютной высоты и ориентации склонов обилие ели и осины подогнано природой друг к другу так плотно, как зубы двух противоположных челюстей.

Становится ясно, что **разнообразие обилия растений доминирующих видов в горах закономерно связано не только с природными условиями их обитания, но и результатами биотических отношений.** А построенные по рассмотренной выше методике эмпирические шкалы встречаемости растений доминантов дают возможность ориентироваться в количественных закономерностях межвидовых взаимодействий, а также и в том, как будет меняться структура растительных систем при глобальном изменении климата. **Данные факты уже сами по себе могут служить очень важным объектом хронобиологических наблюдений и анализа временного хода изменения межвидовых отношений в период глобального потепления.** Легко решается и методическая сторона этих исследований. Например, путем регулярно повторяемого сбора данных, поэтапного построения и сравнения эмпирических региональных шкал встречаемости доминантов растительных систем можно с достаточной точностью и притом на количественном уровне отслеживать временную динамику биотических взаимодействий внутри растительных систем в период изменения климата.

В целом же полученные результаты градиентного анализа найдут применение для **хронобиологического исследования процесса трансформации многих характеристик горизонтальной структуры растительного покрова.** Решать эти задачи целесообразно также путем поэтапного построения и сравнительного анализа эмпирических градиентных шкал встречаемости доминантов растительного покрова гор в процессе глобального изменения климата. Наличие таких поэтапно построенных эмпирических шкал и выполненных на основе их сравнения исследований **позволит ориентироваться во временном ходе изменения** емкости экологических ниш доминантов, уязвимости жизнеспособности доминантов растительного покрова, их продуктивности, изменении видового и формового состава растительных систем и многих других показателей.

Рассмотренные выше региональные эмпирические зависимости встречаемости лесных доминантов (рис. 48,49) позволяют констатировать очень жесткую пространственную приуроченность и широкую экологическую дифференциацию экотопов лесообразующих пород. Притом верхняя высотно-климатическая граница распространения лиственных

пород заканчивается как раз там, где начинается нижняя граница преобладания ели. В данной связи, как представляется, выясненные закономерности позволяют предвидеть следующий **сценарий будущей трансформации растительного покрова гор**, который может подтвердиться хронобиологическими исследованиями **в период изменения климата**. Поскольку предельный возраст ели Шренка достигает 500 лет, ее климаксовые сообщества будут занимать свои экологические ниши многократно дольше, чем расположенные ниже лиственные породы (осина, яблоня, абрикос, боярышник и др.), длительность жизни которых равна 100÷150 лет. А потому **ко времени, когда ель освободит занимаемые ею экотопы, запас семян и вегетативного материала для переселения расположенных ниже лиственных доминантов будет уже исчерпан. И они просто исчезнут из состава флоры горных лесов**. Тем самым будет нанесен не только огромный ущерб растительному покрову и его защитно-охранным функциям, но и навсегда утрачен ценнейший и уникальнейший мировой генофонд растений.

С учетом этого сценарий будущего изменения горных лесов, опубликованный авторами сводки «Второе Национальное Сообщение Республики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата» (2009:137) пока еще остается лишь одним из вариантов. В отличие от сказанного выше, в нем мы находим утверждение о том, что при глобальном потеплении «в горных районах нижняя граница еловых лесов поднимется на 100 – 120 метров, уступив часть своей зоны лиственным и плодовым насаждениям...».

Перспективность для хронобиологических исследований разработанного метода градиентного анализа здесь целесообразно проиллюстрировать материалами еще одной градиентной шкалы (рис.52), которая отражает горизонтальную структуру горных лесов не только на уровне доминантов, но растений подлеска. Она была построена на материалах собранных с участием автора в плодовых лесах другого **крупного ущелья – р.Котур-Булак**. Это ущелье тоже расположено в центральной части хребта Заилийского Алатау, но в десяти километрах западнее от ущелья Правый Талгар. Представленная на рис.52 шкала встречаемости отражает градиентное распределение основных лесобразующих видов деревьев и кустарников пояса плодовых лесов: *Populus tremula* L., *Armeniaca vulgaris* Lam., *Crataegus almaatensis* Pojark., *Malus sieversii* (Ldb.) M. Roem, *Acer semenovii* Rgl. et Herd, *Ramnus cathartica* L., *Berberis heteropoda* Schrenk, *Cotoneaster racemifolia* (Dest.) C. Koch, *Atrophaxis muschketovii* Krassn., *Spiraea hypericifolia* L., *Lonicera tatarica* L.,

Встречаемость древесных растений, в %				
1300	8Аб,8Брк 46Шп,39Кр,23Ж	16Ос,12Аб,8Брк,8Брс,2Кл 43Шп,18Ж,16Кр,2Кз	22Аб,22Брс,13Бк,3Кл,2Ос 49Шп,29Кр,20Ж,10Брс,7Кз, 1Тв,1Кур	109Бк,10Брс,9Яб,1Кл 78Шп,15Ж,14Кр,5Кур, 4Тв,3Брс,1Кз
1200	26Брс,12Аб,49Бк,4Кл 44Ж,35Кр,30Шп, 9Брс,9Кз	26Аб,25Брс,129Бк,10Кл,1Бз 30Ж,21Кр,14Шп,12Брс,10Кз	35Аб,31Брс,129Бк,4Кл,3Бз,1Ос 29Шп,29Кр,25Ж,8Брс,4Кз, 1Тв,2Кур	27Аб,26Брс,119Бк,3Кл,1Бз 52Шп,14Кр,13Ж,6Брс,5Кур, 2Кз,1Бз
1100	89Брс,56Аб,119Б 39Брс,28Ж,11Шп, Тв,6Кз	59Брс,46Аб,119Б 28Ж,25Шп,14Брс, 13Тв,6Кр	45Брс,35Аб,99Бк,3Бз 51Шп,28Ж,20Тв,6Брс, 3Кр,2Кз	36Брс,16Аб,109Бк,1Кл,1Бз 57Шп,52Тв,13Ж,4Кр,1 Брс,1Кз
1000	54Аб,49Брс,14Кл,8Бз,69Б 74Шп,58Ж,39Тв,17Кур, 14Брс,11Кз,5Кр	45Брс,21Аб,6Бз,5Кл,1Бз 62Шп,55Тв,27Кур,10Брс, 7Кз,3Кр	25Брс,11Аб,119Бк,2Кл,1Бз 71Шп,44Тв,27Ж,2Брс,2Кз	23Брс,8Аб,59Бк,1Бз 64Шп,59Тв,14Ж, 2Кр,1Кз
900	16Аб,15Кл,8Бз 100Шп,62Тв,31Кур, 15Ж,9Кз	5Брс,4Кл,3Аб 90Шп,40Тв,18Кур, 3Кз,2Ж	4Кл,3Брс,1Аб,4Бз 50Шп,40Тв,7Кур,3Ж,4Брс	2Аб,1Брс,4Бк,4Бз,1Кл,1Бз 39Шп,16Тв,1Ж,4Кур,4Кз
	37,5-67,5	67,6-97,5	97,6-127,5	127,6-157,5
Возможный годовой приход прямой солнечной радиации, ккал/см ² . год				
				157,6-187,5

Рис. 52. Эмпирическая шкала встречаемости древесных растений пояса плодовых лесов в ущелье Котур-Булак Центрально-Зайлийского лесорастительного района. (Разработано по материалам книги Проскурякова с соавт., 1986).

Обозначения Яб-яблоня; Аб-абрикос; Брк-боярышник; Ос-осина; ; Ив-ива; Кл-клен. Бз-вяз; Кур-курчавка; Шп-шиповник; Ж-жимолость; Тв-таволга; Кр-крушина; Брс-барбарис; Кз-кизилник. Заштрихованными квадратами указаны координаты ключевых объектов хронобиологического анализа.

Lonicera hispida Pall., *Lonicera tianshanica* Pojark., *Rosa platiacantha* Schrenk, *Rubus idaeus* L., *Ribes meyeri* Maxim. Как и в предыдущем случае (рис.48), на этой шкале слева по оси ординат отложена абсолютная высота местности. Снизу по оси абсцисс указана величина возможного годового прихода прямой солнечной радиации. В центре каждой клетки шкалы вписаны величины встречаемости (в процентах) древесных растений. Для оценки встречаемости также использовались круговые учетные площадки размером 16м². Указанные величины встречаемости соответствуют координатам центра клетки шкалы. В числителе каждой клетки шкалы помещены данные о встречаемости лесных доминантов – главных лесообразующих пород. В знаменателе – встречаемость видов древесных растений формирующих подлесок. Разработанная автором методика такого градиентного анализа опубликована (Проскуряков, Пусурманов, Кокорева, 1986). Поэтому здесь на ней останавливаться не будем.

Адекватность этой эмпирической шкалы и фактической картины структуры растительного покрова подтвердилась проверкой ее надежности и возможностей использования как основы для изучения внутривидового разнообразия доминантов. Результаты сопоставления фактических величин встречаемости древесных пород и характеристик их встречаемости, которые рассчитывались по шкале, показали, что первые несущественно отличаются от вторых на 1%-ом уровне значимости. Таким образом, оценки горизонтальной структуры растительных сообществ по разработанной градиентной шкале оказались достаточно надежны.

Материалы исследований ущелья Котур – Булак (рис. 52), так же как и для ущелья Правый Талгар, наглядно иллюстрируют основное разнообразие структуры лесов ординированной по градиентам высоты местности и инсолируемости склонов. Легко убедиться, что, как и в предыдущем случае, сложный рельеф гор очень мощно корректирует градиентную дифференциацию растительного покрова. В результате здесь на небольших расстояниях и в очень широком диапазоне изменчивости происходит быстрая смена видового состава растений.

В целом рассмотренные материалы градиентных исследований позволяют заключить, что в период глобального изменения климата разработанная методика даст надежную основу для количественного хронобиологического анализа уязвимости растительных систем в горах. В данном аспекте **градиентный анализ растительного покрова гор позволяет легко сориентироваться в его разнообразии. А на его основе**

представляется возможным достоверно определять количество и координаты ключевых объектов хронобиологических наблюдений в период изменения климата. И что особенно важно, – эмпирические шкалы встречаемости доминантов растительного покрова дают основу для интерполяции результатов хронобиологического анализа. Иным путем это сделать невозможно.

Для наглядности на рис.52 координаты ключевых объектов хронобиологического анализа обозначены заштрихованными квадратами. При указанном порядке их размещения на все огромное разнообразие представленных растительных систем пояса лиственных лесов потребуется всего девять ключевых объектов хронобиологических наблюдений. Промежуточные же ситуации могут быть охарактеризованы на основе интерполяции данных хронобиологического анализа выполненного на ключевых объектах.

Поскольку построенные эмпирические шкалы встречаемости доминантов растительных систем позволяют определить не только необходимое для хронобиологического анализа количество ключевых объектов, но и их экологические адреса на местности, то на данной основе можно осуществить подбор и закладку постоянных пробных площадей в природе. А результаты выполненных на них хронобиологических исследований могут быть уверенно интерполированы на весь охваченный экологический полигон. Опыт репрезентативного подбора и работы на постоянных пробных площадях по упомянутой выше методике градиентного анализа опубликован (Проскуряков и др.,1986). Поэтому здесь на нем останавливаться не будем.

Весь накопленный опыт построения эмпирических шкал встречаемости лесообразующих пород в диапазоне обитания растительного покрова в горах Северного, Западного, Центрального Тянь-Шаня и Рудного Алтая позволил убедиться, что **на каждом участке горной территории емкость экологической ниши пригодной для доминантов имеет высокую устойчивость во времени. Она сохраняется до тех пор, пока общеклиматический фон местности остается неизменным** (Проскуряков,1972; 1973а;1974; 1977; 1978; 1979б,в; 1982;1983;1999). Вместе с тем, в зависимости от общеклиматического фона местности конкретного региона и состояния указанных выше косвеннодействующих факторов (высоты местности, инсолируемости склонов) **емкость экологической ниши для каждого доминирующего вида растений может меняться от нулевых значений до стопроцентной. Данная закономерность является общей. Она подтвердилась исследованиями на объектах как**

хвойных, так и лиственных лесов различных горных систем Тянь-Шаня и Рудного Алтая.

В аспекте обсуждаемых вопросов применения хронобиологического анализа выполненного на градиентной основе, уместно отметить, что в лесоведении, лесоводстве и науке о таксации леса весьма широко используется понятие о нормальном насаждении. Нормальным считается такое насаждение, которое при данной форме, породе, возрасте и условиях местопроизрастания является наиболее совершенным. То есть все силы природы использованы им с предельной полнотой (Анучин, 1952:194). Такое представление о нормальном насаждении положено в основу решения большинства задач лесоведения, проектирования лесоводственных мероприятий и ведения лесного хозяйства.

В данной связи, как можно было убедиться на рассмотренных выше материалах эмпирических шкал встречаемости лесообразующих пород, в горах характеристика нормальных насаждений будет дифференцироваться в очень широких пределах. В результате нормальными могут быть насаждения в диапазоне встречаемости доминирующей лесообразующей породы, например, от 30% и до 100%. Все будет зависеть от природной емкости экологических ниш пригодных для лесообразующих пород. А в период изменения климата емкость ранее существовавших экологических ниш доминантов растительных систем будет меняться непрерывно. И как следствие этого пойдет сопряженный процесс непрерывного изменения характеристик нормальности ценопопуляций главных лесообразующих пород. Вслед за тем должны будут изменяться и нормы для определения успешности естественного возобновления лесных доминантов, нормы для проектирования посадок лесных культур, потребуют постоянной корректировки таблицы хода роста нормальных насаждений. Отсюда возникнет необходимость в пересмотре всех рекомендаций по ведению рациональной системы природопользования и сохранению биоразнообразия растительного покрова в горах. Решение этих задач на научной основе будет возможно только путем сопряженного градиентного и хронобиологического анализа растительных систем гор. И здесь, как представляется, могут пригодиться уже разработанные рекомендации и опыт по ординированию структуры ценопопуляций и методам оценки естественного возобновления доминантов горных растительных систем (Проскуряков, 1979а,б; 1985; 1994а,б)

В период изменения климата все вышеизложенное определяет **целесообразность поэтапного построения эмпирических шкал встречаемости доминантов с целью сбора материалов для хронобиологического анализа на градиентной основе по следующим направлениям:**

- слежение за динамикой изменения емкости экологических ниш пригодных для поселения доминантов растительного покрова гор;
- регулярная корректировка эмпирических шкал встречаемости доминантов растительного покрова применяемых для разработки мероприятий по рациональному природопользованию в горах;
- внесение корректив в нормы по оценке биологической продуктивности растительных доминантов, успешности их естественного возобновления и созданию посадок растений в горах;
- хронобиологический анализ динамики биологической продуктивности и естественного возобновления доминантов растительного покрова в процессе изменении климата.

Но эти важнейшие направления хронобиологических исследований отражают еще лишь малую долю тех возможностей, которые позволяет сопряженный градиентный и хронобиологический анализ. В данной связи целесообразно еще остановиться на материалах, открывающих и другие направления сопряженного градиентного и хронобиологического анализа растительного покрова гор.

И здесь уместно начать с того, что разработанная научная основа и **методы градиентного анализа позволяют выяснить не только природную изменчивость обилия доминирующих видов, но и выявить пространственную дифференциацию внутривидовой (формовой) структуры ценопопуляций и ее движение в период изменения климата.** Эти возможности наглядно иллюстрируются и предлагаемыми далее результатами градиентного анализа распределения наследственно обусловленных внутривидовых форм ели и абрикоса в растительных системах ущелья Котур-Булак.

Как показано на рис. 53, растения ели Шренка отличающиеся наследственно закрепленной формой кроны и типом ветвления приурочены только к определенным экологическим нишам. Так, например, наиболее обильно колонновидная форма кроны ели представлена на крутых слабо инсолируемых северных склонах высотно-климатического пояса на 2100м над уровнем моря (рис.53, левая диаграмма). Деревья же ели Шренка с компактным типом ветвления наиболее обильно представлены на абсолютной высоте 1700м на склонах средней инсолируемости (рис.53 правая диаграмма). В обоих случаях градиентные координаты их размещения отражают разные адаптационные возможности и различия в биологической устойчивости внутривидовых форм ели к действию экологического режима местности.

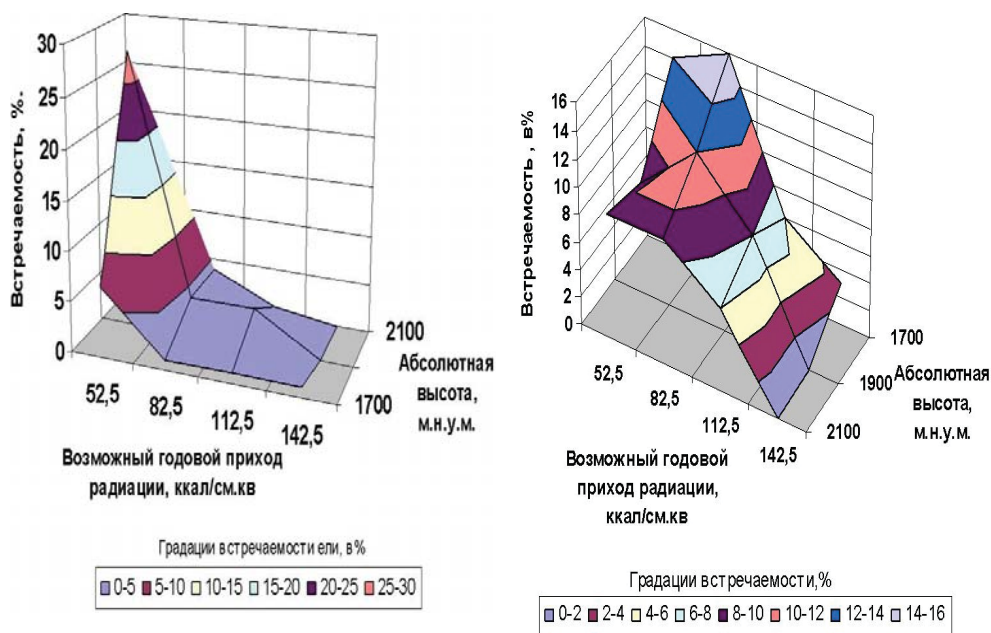


Рис.53. Встречаемость ели с колонновидной формой кроны (левая диаграмма) и с компактным типом ветвления (правая диаграмма) в ущелье Котур-Булак Центрально – Заилийского района Тянь-Шаня.

Закономерную картину дифференцированного размещения не только вида в целом, но и внутривидовых форм можно проиллюстрировать и для лиственных пород. В данной связи обратимся к результатам представленного на рис. 54 градиентного анализа встречаемости абрикоса обыкновенного (*Armeniaca vulgaris* Lam.) в ущелье Котур-Булак. Как видим, наряду с закономерным варьированием обилия абрикоса в целом (см. левую диаграмму рис.54), имеет место и четкая дифференциация формовой структуры его ценопопуляций, территориальное перераспределение форм отличающихся биохимическими свойствами. Например, – соотношением сахаров и кислот в плодах (см. правую диаграмму рис.54). Наибольший процент особей абрикоса со сладко-кислыми плодами оказался приурочен к высотнo-климатическому поясу 1000м ÷ 1200м над уровнем моря, а со сладкими плодами – к 1300м над уровнем моря (рис.54). Не менее четкие закономерности в экологической приуроченности форм абрикоса были установлены также в отношении окраски, размеров плода, волокнистости, массы плодов абрикоса (Проскуряков, Пусурманов, Кокорева, 1986).

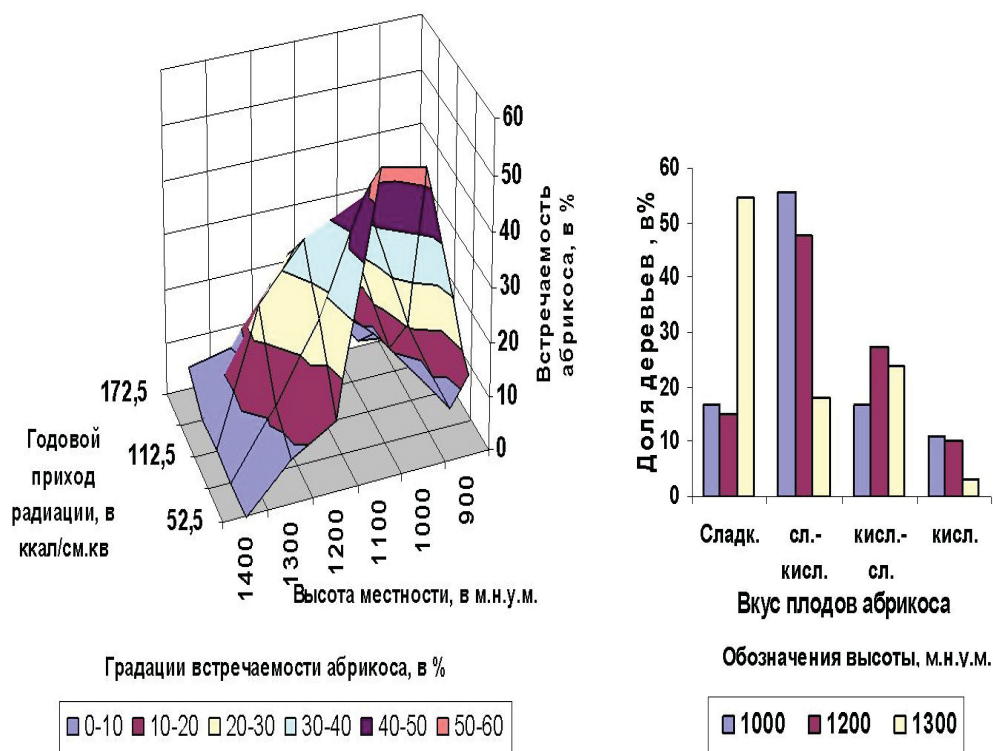


Рис.54. Встречаемость абрикоса в зависимости от высоты местности и инсолируемости склонов (левая диаграмма) и распределение деревьев абрикоса с разным вкусом плодов в зависимости от высотной приуроченности его ценопопуляций (правая диаграмма) в ущелье Котур-Булак.

Наряду с рассмотренными выше особенностями большое значение имеет сопряженная с высотно-климатической поясностью **изменчивость репродукции горных растений**. В данном контексте, например, связанное с условиями обитания разнообразие встречаемости растений ели Шренка в значительной мере является следствием ее репродуктивной способности. Было установлено (Проскуряков, 1965), что высокие летние температуры и, как следствие этого дефицит влажности, предшествующие закладке цветочных почек у ели Шренка, вредно действуют на транспирацию, обмен веществ, интенсивность минерального питания. Жаркая и сухая погода сокращает период роста и развития деревьев. Влияет на успешность протекания фазы бутонизации. В результате снижается количество закладываемых цветочных почек будущего уро-

жая. Задерживается наступление урожайных лет. Лимитируется естественное возобновление. Не менее вредно влияют и низкие температуры. В итоге урожайность семян ели Шренка оказывается тесно связана с климатическим режимом высотных поясов.

Как видим по материалам рис.55, в урожайные годы в оптимальных условиях на абсолютной высоте 2100 м урожай ели достигает 160 штук шишек в среднем на одном дереве (данные статистически достоверны на 5%-ом уровне значимости). В эти же годы на абсолютной высоте 2600м урожай оказывается в восемь раз меньше (около 20 штук шишек на дереве). А в **малоурожайные годы** количество шишек на высоте 2600м столь ничтожно, что даже не обеспечивает естественного возобновления (Проскуряков, 1965). Здесь возобновление ели поддерживается, главным образом, только в высокоурожайные годы.

По материалам, собранным при разработке эмпирической шкалы градиентной встречаемости лесных доминантов в ущелье Котур-Булак, самые жесткие условия для возобновления ели Шренка создаются на абсолютной высоте 2700м. Здесь на наиболее холодных склонах с возможным годовым приходом радиации $37,5 \div 67,5$ ккал/см² регулярно гибнет основная часть появившегося подроста. Например, если на момент исследований встречаемость елового подроста здесь составила 43%, то встречаемость взрослых особей ели оказалась равной лишь 1-му проценту. Однако на той же высоте, но для наиболее прогреваемых склонов с радиацией $157,5 \div 187,5$ ккал/см². год данное соотношение равнялось уже соответственно 43% к 9%. Как видим, налицо девятикратное отличие.

Проиллюстрированные выше примеры доказывают, что поэтапный сопряженный градиентный и хронобиологический анализ позволят вы-

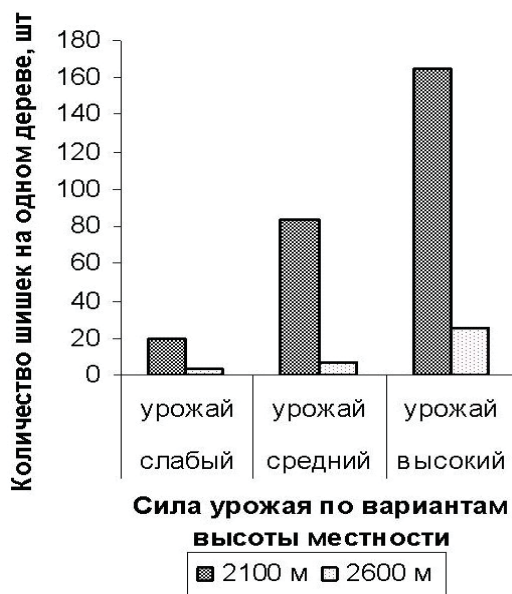


Рис.55. Плодоношение 80-100 летних деревьев ели Шренка на южной опушке леса разных высотных поясов ущ. Восточный Кара-Булак (хр. Кунгей Алатау).

явить не только связанное с изменением климата движение природного разнообразия обилия видов, внутривидовых форм растений, их конкурентных взаимодействий, но и установить особенности трансформации их репродуктивного процесса.

В дополнение к сказанному можно привести и другой пример, касающийся уже **конкурентных взаимоотношений между господствующим ярусом доминантов растительного покрова и подлеском** (рис.56). Диаграммы рис.56 здесь построены по материалам рассмотренной выше градиентной шкалы обилия древесных растений пояса плодовых лесов в ущелье Котур-Булак представленной на рис.52.

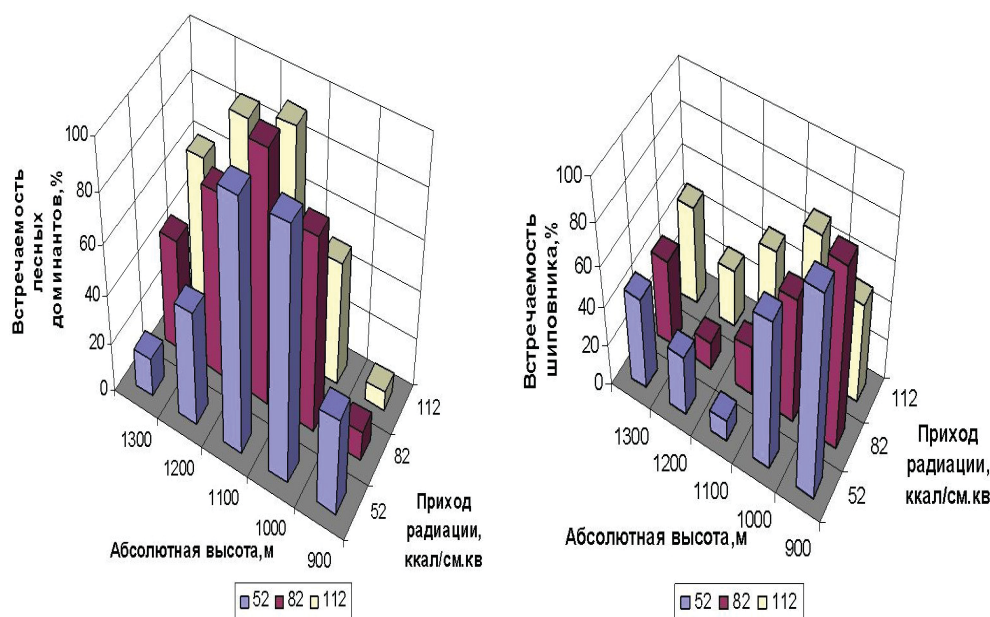


Рис.56. Диаграммы встречаемости доминирующих лесообразующих видов деревьев (слева) и шиповника в подлеске (справа) в поясе плодовых лесов ущелья Котур-Булак хребта Заилийский Алатау

Эти диаграммы наглядно свидетельствуют о том, что в пределах всего изученного экологического диапазона абсолютной высоты и инсолируемости такая подлесочная порода, как, например, шиповник (*Rosa platiacantha* Schrenk) доминирует в составе фитоценозов только у верхних и нижних границ пояса плодовых лесов. То есть там, где конкурентное влияние лиственных деревьев начинает ослабевать. Здесь встречаемость шиповника достигает 60%. В средней же высотной полосе пояса

плодовых лесов шиповник вытесняется более мощными древесными конкурентами и его обилие здесь падает до 10-20 %.

На основе анализа материалов рис.51(см. выше) и рис. 56 можно констатировать, что **в период изменения климата слежение за процессами конкурентных взаимодействий в растительных системах является реальной и в тоже время важнейшей задачей хронобиологических исследований.** И данная задача может вполне успешно решаться путем сопряженного градиентного и хронобиологического анализа.

Для полноты обсуждения здесь нужно остановиться еще на **дифференциации физиологических и биохимических характеристик растений, которые также должны быть важнейшим предметом хронобиологических исследований при изменении климата в горах.** Для рассматриваемого здесь региона Заилийского Алатау наиболее типичные приспособительные реакции растений к условиям вертикальной поясности можно проиллюстрировать на основе материалов эколого-физиологических исследований. Материалы этих исследований, выполненных до начала изменения климата, были опубликованы группой сотрудников Института ботаники АН РК в сводке «Эколого-физиологические исследования горных растений»(1971). Кратко рассмотрим некоторые результаты данной работы на примере широко распространенного здесь аконита белоустого (*Aconitum leucostomum* Worosch.).

Известно, что аконит белоустый многолетнее, алколоидосодержащее растение, 60-80см высотой. Цветет в июле- августе. Растет в поясе еловых лесов и разнотравных лугов Заилийского Алатау. Для наглядности результаты комплексных исследований этого растения представлены на диаграммах рисунков 57,58.

Как видим, с подъемом в горы высота растений аконита существенно увеличивается (рис. 57, левая диаграмма), а сроки наступления фазы бутонизации, цветения и плодоношения смещаются на 5-8 дней в более позднюю сторону (рис.57, правая диаграмма).

По мере увеличения высоты местообитания усиливается фотосинтетическая деятельность и накопление органических веществ в листьях. В результате с продвижением от 1500м до 2200м интенсивность фотосинтеза возрастает в пять раз (рис. 58, левая диаграмма). При этом ведущей формой ассимилятов, преимущественно накапливающихся с высотой местности, являются растворимые сахара (рис. 58, правая диаграмма), количество которых у верхних высот распространения аконита возрастает более чем в два раза.

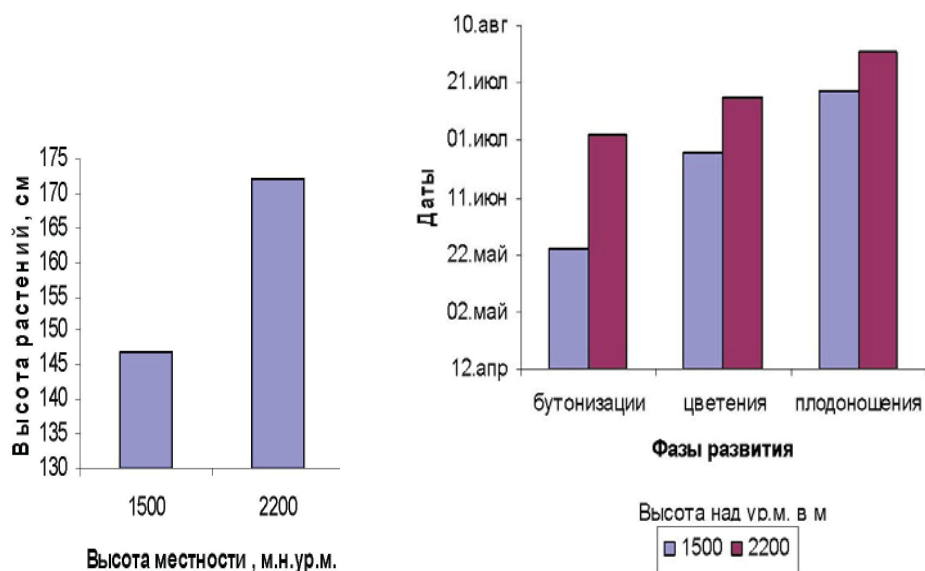


Рис. 57. Влияние абсолютной высоты местности на высоту растений (левая диаграмма) и даты наступления основных фаз развития аконита (правая диаграмма). Диаграммы построены по данным Л.Ф.Белослюдовой, В.П.Беденко, Л.И.Киселевой, 1971.

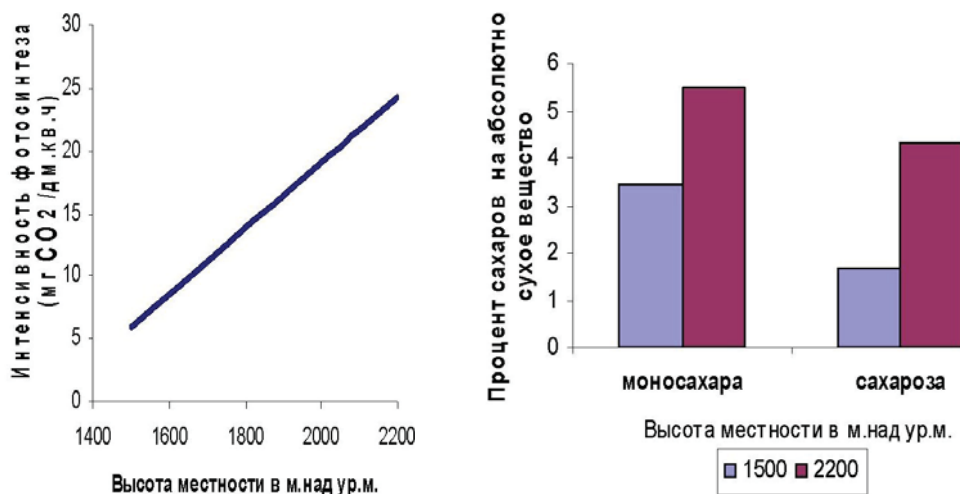


Рис.58.Интенсивность фотосинтеза и содержания растворимых сахаров в листьях аконита на разных абсолютных высотах. Диаграммы построены по данным В.П.Беденко, 1971.

Наряду с показанными выше изменениями существенные отличия имеют место и в отношении накопления алкалоидов в корнях аконита. Согласно выполненным в том же районе исследований Р.К.Моисеева, М.К.Кукунова, Б.Б.Бекетаева и Н.Г.Гемеджиевой (1992) содержание алкалоидов в корнях этого растения с подъемом в горы увеличивается также более чем вдвое.

В целом, как можно было убедиться на рассмотренных примерах и материалах градиентного анализа, среда обитания растений в горах меняется непрерывно. Сложный рельеф гор очень существенно корректирует спектр изменчивости общеклиматического фона местности и градиентную дифференциацию характеристик растительного покрова даже на небольших расстояниях и в очень широком диапазоне изменчивости. Поэтому решение проблемы хронобиологических исследований здесь возможно только путем закладки постоянных пробных площадей репрезентативных для ключевых объектов изучаемого горного региона, подобранных по результатам градиентного анализа. **Хронобиологический анализ на таких постоянных пробных площадях позволит отслеживать изменения фенологии растений, их продуктивности, формовой структуры ценопопуляций, биотических взаимодействий растений, их физиологических и биохимических процессов, изменения ресурсной ценности растений. По материалам исследований выполненных на ключевых объектах можно будет легко ориентироваться в процессах движения свойств растений и формируемых ими растительных систем, а также изменения емкости экологических ниш доминантов происходящих в период глобального потепления (или похолодания) климата. При этом применение рассмотренных выше методов позволит именно на количественном уровне проследить степень уязвимости каждого изучаемого показателя, а также временной ход, направление, скорость и величину их изменения.**

Заключение

Таким образом, в период изменения климата растительность гор целесообразно исследовать путем сопряженного градиентного и хронобиологического анализа. Это подтверждает весь накопленный многолетний опыт градиентного анализа в горах Северного, Центрального, Западного, Восточного Тянь-Шаня, Рудного Алтая и 15-летний опыт хронобиологических исследований. Нужную основу для градиентного анализа дают эмпирические шкалы встречаемости доминантов расти-

тельного покрова в горах построенные для крупных ущелий по указанным выше методикам.

Градиентный анализ необходим для решения следующих вопросов хронобиологических исследований в горах.

- Планирования целей, задач и объема хронобиологических исследований.
- Определения характеристики и подбора на местности репрезентативного количества ключевых объектов и постоянных пробных площадей для хронобиологических наблюдений.
- Хронобиологического анализа климатогенного изменения фенологии растений, их продуктивности, репродуктивной способности, формовой структуры ценопопуляций, биотических взаимодействий растений, их физиологических и биохимических процессов, изменения ресурсной ценности растений, динамики емкости экологических ниш доминантов; степени уязвимости показателей растительных систем, временного хода, направления, скорости и величины изменения каждого изучаемого показателя.
- Решения задач интерполяционного прогнозирования трансформации растительных систем и их защитно-охранной роли в новых климатических условиях путем осуществления интерполяции результатов хронобиологического анализа.
- Пополнения и систематизации банков данных о результатах хронобиологического анализа.
- Применения полученных результатов хронобиологического анализа для разработки научной основы рационального природопользования.

Сопряженное применение градиентного и хронобиологического анализа горных растений позволит расширить, углубить и конкретизировать понимание процессов изменения растительности в период трансформации климата. Поможет выяснить уязвимость и временной ход изменений исследуемых характеристик растительных систем в горах. Даст возможность разработать инновационные рекомендации по сохранению биоразнообразия, ресурсной ценности, защитно-охранной роли и поддержанию биологической устойчивости растительного покрова. В итоге будет получена научная основа достаточная для принятия важных решений по использованию и сбережению горных растительных систем в режиме трансформации климата.

Сопряженные градиентные и хронобиологические исследования должны вестись поэтапно. Вначале путем градиентного анализа необхо-

можно определить геоботаническую характеристику ключевых объектов, экологические адреса и минимальное количество постоянных пробных площадей, закладка которых позволит получить репрезентативное описание природного разнообразия растительности изучаемого горного региона. Затем уже на этой основе нужно подобрать в природе необходимое для стационарного изучения количество постоянных пробных площадей. На них будут проводиться долговременные стационарные хронобиологические исследования. Периодическая обработка накапливаемой базы данных по методике хронобиологического анализа позволит выяснить, в каком направлении и на какую величину происходят изменения в растительном покрове гор. В процессе этих исследований полученные результаты хронобиологического анализа будут интерполироваться на всю изученную территорию региона.

Обработка данных хронобиологических исследований должна выполняться по двум направлениям. Во-первых, – краткосрочно-поэтапных хронобиологических исследований показателей жизнеспособности доминирующих видов. Их целью является отслеживать погодичную динамику за небольшие отрезки времени – 8÷12 лет. В содержание работы таких этапов нужно включать хронобиологический анализ степени уязвимости и временного хода изменений репродукции, фенособытий, морфологических, физиологических, биохимических параметров, продуктивности биомассы и хозяйственно важных свойств растений. Такие краткосрочные наблюдения позволят диагностировать начало трансформации биологических свойств и жизнеспособности доминирующих видов задолго до катастрофических изменений растительного покрова и сокращения ареалов видов. Во-вторых, – длиннопериодных хронобиологических исследований. Их длительность будет сопоставима с длительностью жизни поколений доминантов растительного покрова. Содержание этих исследований к перечисленному выше нужно дополнить:

- анализом динамики генофонда растений;
- анализом динамики конкурентных и консортивных взаимодействий видов и емкости экологических ниш, пригодных для доминантов растительного покрова, а также направления дрейфа этих экологических ниш в системе координат азимута, крутизны склонов и абсолютной высоты местности;
- анализом динамики почвозащитной, противоселевой, противолавинной, водорегулирующей, водоохранной, бальнеологической и рекреационной роли растительного покрова в горах.

Результаты хронобиологических исследований дадут необходимую научную основу для разработки и корректировки рациональной системы природопользования в новых экологических условиях.

Сопряженное применение градиентного и хронобиологического исследования растительного покрова в горах, а также выполненный на этой основе хронобиологический анализ временного хода изменений характеристик растительных систем позволят получать инновационные решения следующих задач.

1. Отслеживать движение координат и емкости экологических ниш пригодных для заселения их растениями.

2. Разрабатывать методики и нормы для оценки успешности естественного возобновления доминантов растительного покрова в процессе изменения климата. Проектировать и выполнять работы по содействию их естественному и искусственному возобновлению.

3. Создавать ресурсосберегающие технологии выращивания растений в горах, позволяющие получать растения с заранее проектируемыми полезными качествами в период изменения климата.

4. Достоверно дифференцировать нормальные насаждения лесообразующих пород для составления таблиц хода роста их древостоев. Устанавливать степень нормальности насаждений при лесотаксационных работах с учетом дрейфа природного разнообразия емкости экологических ниш в период изменения климата. Проектировать ресурсосберегающие приемы лесовосстановительных рубок, санитарных рубок, рубок главного пользования и рубок ухода за лесом при изменении климата.

5. Объективно оценивать происходящие и прогнозировать возможные в период трансформации климата изменения почвозащитной, противоселевой, противолавинной, водорегулирующей, водоохранной, бальнеологической и рекреационной роли растительного покрова в горах.

6. Выполнять непрерывный мониторинг движения природного разнообразия состава и горизонтальной структуры растительных сообществ, дифференциации их продуктивности, происходящие изменения структуры ценопопуляций растений на видовом и внутривидовом (формовом) уровне, направление конкурентных межвидовых взаимодействий растений и биотических процессов в целом. Определять временной ход происходящих изменений на геоботаническом, флористическом, генетическом, физиологическом, биохимическом, хемосистематическом и экологическом уровнях.

7. Выяснять экологические закономерности и временной ход проявления и сочетаемости наследственно обусловленных полезных свойств,

а также характер накопления биологически активных соединений у горных растений в зависимости от их положения в системе градиентных координат действующих факторов среды обитания и изменения климата. На этой основе решать задачу поиска в природе, заготовки и выращивания в культуре растений с заранее заданными полезными качествами.

8. Разрабатывать экологически обоснованные мероприятия по сохранению генофонда горных растений, выделению особо охраняемых участков и эффективные способы содействия возобновлению и поддержанию стабильности популяций особо охраняемых видов растений, как в природе, так и в условиях культуры.

9. Создать и пополнять контрольную базу данных результатов длиннопериодного и краткосрочно – поэтапного хронобиологического анализа для экологического мониторинга и прогнозирования изменения горных растений во время глобальной трансформации климата.

10. Применять наработанный опыт хронобиологического анализа в горных районах (как на модельных объектах) для интерпретации результатов хронобиологического анализа в масштабе географических зон равнинных территорий.

Хронобиологические исследования в рассмотренных выше объемах и направлениях должны быть обеспечены достаточным и стабильным финансированием, а также специально подготовленными высококвалифицированными кадрами исполнителей. Промедление с развертыванием этих работ приведет к непредсказуемым последствиям как в режиме природопользования, экологической и экономической безопасности стран, так и в сфере социальных отношений.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени, когда глобальное потепление идет уже около четырех десятилетий, можно достоверно констатировать факт наличия не только масштабных, но и коренных изменений климата Земли. В результате образовалась крупная совокупность лет с совершенно новым режимом максимальной температуры воздуха. И потому все имеющееся на огромных просторах Земли разнообразие растительных систем вынуждено вступить в такие температурные условия, которые существенно отличаются от тех, при которых оно было сформировано.

Вместе с тем, глобальные изменения климата происходят столь стремительно, что многие биологические виды и формируемые ими экосистемы не успевают приспособиться к новым условиям. И в данной связи увидеть их возможное будущее уже сейчас позволяет проанализированный в книге опыт интродукторов переносивших растения в новые климатические условия, а также результаты наблюдений, накопленные в период глобального потепления. Они доказывают неизбежность грядущего изменения продуктивности и биоразнообразия растительных сообществ; динамики роста и развития растений, их биохимической реакции и биохимических модификаций. Произойдут изменения в ферментативных системах и физиологических процессах. Трансформируется морфологическое строение: габитус растений, облиственность, размеры листьев, развитость корневых систем и даже жизненная форма. Произойдет сдвиг фаз роста и развития, изменится скорость их протекания. Выпадут отдельные фазы развития. Появятся нарушения феноритмики у растений. Изменится скорость старения и долголетие организмов. И эти изменения в жизни растений детерминируют, в свою очередь, коренные изменения всего растительного покрова Земли.

Однако главной трудностью в исследованиях поведения растений при изменении климата стало наличие неопределенностей в отношении оценок чувствительности и приспособляемости их природных систем. Из-за этого оценка уязвимости растительных систем в период изменения климата часто носила качественный характер, что констатировалось и самой авторитетной Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) созданной Всемирной метеорологической организацией и Организацией Объединенных Наций.

Количественному исследованию уязвимости растительных систем в период изменения климата как раз и посвящена данная книга, в кото-

рой для решения этой проблемы предлагается использовать специально разработанную методологическую основу высокочувствительного хронобиологического анализа. Принципиальное отличие и новизна предложенной здесь методологической основы состоит в том, что при хронобиологическом анализе растительные объекты рассматриваются как процессуальные системы, работающие в режиме изменяющегося климата Земли. В данном аспекте этот подход дал возможность перейти от пока еще широко распространенного анализа изменения растительных объектов, главным образом, на уровне рядов динамики (другие названия: временные ряды, динамические ряды, хронологические ряды) к анализу на уровне процессуальных систем. Такой концептуальный подход к хронобиологическому анализу растительных систем позволил объединить преимущества, как системного анализа, так и ранее применявшегося анализа динамических рядов. Целесообразность и перспективность использования этого нового решения проблемы анализа климатогенной уязвимости растительных объектов вытекает из следующего.

1. Предлагаемая методологическая основа системного хронобиологического анализа растений позволяет выполнить количественный анализ климатогенной уязвимости растительных систем на основе применения всего ранее наработанного арсенала теоретической базы, методов и алгоритмов корреляционного, регрессионного анализа, методов анализа рядов динамики, а также методов статистической обработки данных с помощью программ ЭВМ. Пользуясь этой методологической основой, удастся статистически достоверно выполнить хронобиологические исследования важнейших показателей жизнеспособности растений и формируемых ими растительных систем, исследовать крупные массивы фактических материалов наблюдений за любые периоды трансформации климата. Притом нужные результаты могут быть получены и без дорогостоящих метеонаблюдений.

2. Используемый в разработанной методологической основе системный подход к решению задач хронобиологического анализа позволяет количественно измерить степень уязвимости любой растительной системы во время изменения климата. Данный результат достигается путем числовой оценки тесноты связи характеристик ее показателей с изучаемым периодом жизни, числовой оценки величин смещения характеристик в динамике формирования растительных систем, числовой оценки скорости их изменения и исследования направления происходящих изменений. При этом удастся учитывать влияние на растительные системы всей совокупности факторов действующих в период меняюще-

гося климата. Представляется возможным количественно оценивать степень уязвимости, биологическую устойчивость и ресурсную перспективность природных растительных систем и агрофитоценозов в любом конкретном периоде их жизни, как при глобальном потеплении, так и похолодании. Можно выявлять основные типы адаптационной стратегии растительных систем дифференцирующихся в режиме времени изменения климатических условий. Отслеживать временной ход развития процесса изменения растительных систем. Получать графические линии регрессии и их аналитические формулы, отражающие временной ход изменения характеристик показателей. Выяснять направление, скорость и величину изменений исследуемых характеристик растительных систем за период изменения климата.

3. Применение разработанной методологической основы в сочетании с интерполяцией результатов хронобиологического анализа в пределах ординированной сети ключевых объектов позволит многократно повысить эффективность исследований и уменьшить связанные с ними затраты. Интерполяционный прогноз уязвимости растительных систем крупных территорий, в свою очередь, базируется на системной организации работы сети центров хронобиологического анализа, применении ими единой методики сбора и обработки результатов хронобиологических наблюдений и выполнении комплексного количественного анализа уязвимости растительных систем. Себестоимость интерполяционного прогнозирования результатов хронобиологического анализа невысока, так как он может выполняться в камеральных условиях. И при этом реализуется возможность быстро разрабатывать рекомендации для крупных территорий, как для природных растительных систем, так и агрофитоценозов, что очень важно в регионах, где интенсивно развиваются процессы изменения климата.

Рассмотренный в книге опыт применения разработанной методологической основы хронобиологического анализа позволяет прийти к важному выводу о том, что роль глобального потепления ни в коей мере нельзя сводить к эффекту лишь прямого теплового воздействия на растения и чисто физиологической их реакции на это. Меняющийся климат детерминирует коренные изменения во всех проявлениях жизни растений. И они уже происходят. Очень быстро. Но пока еще в скрытой форме – на физиологическом, биохимическом, фенологическом, консортивном уровнях. На уровне конкурентных взаимодействий, естественного отбора наиболее приспособленных видов или их

форм. На уровне изменения прироста биомассы и прочих характеристик растительных систем. С дальнейшим развитием трансформации климата нужно ожидать существенного, лавинообразного нарастания интенсивности всех направлений изменений растительного покрова. Эти изменения станут происходить на всей территории Земли. А связанное с ними грядущее преобразование структуры растительного покрова будет неизбежно сопряжено с крупными потерями его продуктивности, утратой накопленного миллионами лет эволюции исключительно богатого генофонда растений, деградацией биоразнообразия растительного покрова в целом. В итоге разрушительные последствия от смены климатического режима окажутся сравнимы только с последствиями мировой ядерной войны.

Основываясь на имеющихся фактах можно прийти к выводу о том, что в первую очередь глобальное потепление приведет к глобальному же изменению характера и направления биотических связей в растительных системах. И на данном этапе глобального потепления губительные по своим последствиям процессы этих изменений уже начались. Притом намного раньше возможного летального для растений прямого действия температурного фактора. Наглядным подтверждением справедливости этого вывода является проанализированная в книге реакция широко распространенного в Средней Азии доминанта растительных систем – верблюжьей колючки. Ведь потепление климата еще ни в коей мере не привело к гибели ее растений. Наоборот, в наиболее жаркие годы в местах ее обитания наблюдался как раз наилучший прирост биомассы. Но при этом прекратилось ее нектаровыделение, и, как следствие, разрушилась цепь консортивных связей с насекомыми-опылителями. Остановилось опыление, а следом и плодоношение, семенное возобновление. Исчезла перекombинация генов, на основе которой только и была возможна выработка устойчивости данного вида к новым климатическим условиям. А в результате отсутствия опыления и развития кризиса репродукции возникла угроза исчезновения данного ценного доминанта растительного покрова и формирования совершенно новых структур биоценозов, которых раньше никогда не было.

Помимо разрушения консортивных связей на текущем этапе глобального потепления не меньшее значение будет иметь и трансформация конкурентных взаимодействий между ценозообразующими видами растений. Подтверждение тому дают результаты выполненного в книге анализа горных растительных систем, которыми на фактических материалах исследований достоверно доказана объективность климатоген-

ного изменения конкурентных взаимодействий между доминантами растительного покрова.

В результате подготавливающихся скрытых для наших глаз биоценологических процессов для одних видов растений их высокая уязвимость будет способствовать улучшению качества жизни, росту биологической продуктивности, стимулировать репродукцию, корректировать их биотические связи в благоприятную сторону. Но, в то же самое время, для других видов, как следствие их высокой уязвимости, произойдет ухудшение всех показателей жизнеспособности, снижение биологической продуктивности, угнетение репродуктивных процессов, биотических связей и падение обусловленной всем этим биологической устойчивости растительных систем.

Рассмотренный в книге опыт хронобиологического анализа поведения растений в истекший период глобального изменения климата позволил выяснить, что в подавляющем большинстве случаев у растений уже обнаружались весьма существенные разбалансировки процессов их жизнедеятельности. Сопряженная с периодом трансформации климата разбалансировка поведения растений пока еще идет скрытно. Но всем этим интенсивно подготавливаются коренные преобразования важнейших ресурсных потенций растительных систем, их значения как объектов природопользования, а также экологических, защитно-охранных, рекреационных и многих других функций. В том числе – как объектов местообитания и питания приспособившихся к ним животных и микроорганизмов. Отсюда становится ясно, что с началом глобального потепления полученные ранее результаты исследований растительного покрова нельзя считать константными. Никакие попытки инновационных разработок и рекомендаций уже не будут успешными, если они не учитывают происходящих изменений растительных систем.

Поэтому для скорейшего понимания фундаментальных закономерностей процесса изменения растительных систем крупных равнинных территорий целесообразно реализовать предложенную в книге концепцию хронобиологического анализа плакорных растительных систем Западно-Сибирской равнины. Этот регион наиболее приемлем для всесторонних полномасштабных исследований динамики характеристик растительных систем природных зон северных широт. Его уникальность на мировом уровне заключается в том, что продуктивность и другие характеристики растительных систем, а также и определяющий их состояние температурный режим местности, закономерно и плавно меняются в очень крупном диапазоне географической широты местности.

Притом значительная часть широтного спектра представленных в нем растительных систем северного полушария пока еще сохранила свои природные закономерности формирования. Здесь же имеется и большое разнообразие агрофитоценозов окультуренных растений, обеспечивающих продуктовую и экологическую безопасность многих стран. В их числе – плантации пшеницы, ржи, ячменя, овса, льна, бобовых, плодово-овощных и других пищевых растений, а также множество интродуцированных видов растений привлеченных для зеленого строительства. Все эти агрофитоценозы с учетом их приуроченности к разной широте местности также являются важнейшими объектами хронобиологических исследований.

Хронобиологические исследования в пределах широтного профиля территории Западно-Сибирской равнины могут быть продолжены в направлении растительных систем расположенных южнее на равнинных просторах других стран Средней Азии. Тогда представится возможность изучать временной ход процесса изменения растительных систем в еще большем диапазоне – от 40° до 80° северной широты на расстоянии свыше 6000 км. Здесь имеются все основные природные зоны северного полушария: тундры, лесотундры, лесная, лесостепная и степная, зона полупустыни и пустыни. И вся полученная в результате хронобиологического анализа информация будет крайне необходима для понимания общемировых закономерностей уже происходящих глубинных, скрытых от невооруженных глаз зональных изменений растительного покрова, а также для разработки и применения стратегии рационального природопользования в течение периода глобального изменения климата.

Такой хронобиологический анализ позволит своевременно подготовиться к назревающей катастрофе растительного покрова, определить важнейшие направления для смягчения ее последствий и перестройки хозяйства, социальной политики, занятости населения, сохранения его здоровья и экологической безопасности всех стран северного полушария.

Представляется необходимой и реализация разработанной в книге концепции тотального хронобиологического анализа фенособытий доминантов, как природного растительного покрова, так и основных сельскохозяйственных растений. Это позволит с наименьшими затратами труда, средств и с достаточной полнотой охватить исследованиями всю равнинную территорию суши нашей планеты и тем самым постоянно корректировать информацию о временном ходе происходящих изменений. В такой работе смогут участвовать все государства, что позволит

значительно повысить точность и достоверность результатов исследований, избежать вероятных ошибок. Вместе с тем ценность наблюдений каждого конкретного пункта многократно возрастет, так как он будет обслуживать не только ту точку, в которой находится, но и всю систему сети наблюдений. За счет кооперации существенно снизятся и затраты каждого из государств – участников общей программы хронобиологического анализа. А преемственность и достаточная длительность наблюдений в каждом конкретном пункте дадут возможность наиболее эффективно применить представленную в книге методологическую основу хронобиологического анализа для количественных исследований уязвимости растительных систем обширных территорий. Удастся выяснить степень уязвимости и временной ход происходящих изменений фенособытий у растений, оценить их опасность и определить вероятные направления дрейфа устойчивости растительного покрова путем интерполяции результатов анализа.

Наряду с хронобиологическим анализом уязвимости растительных систем равнинных территорий, не меньшее внимание должно быть уделено и горной растительности. Ведь горы занимают пятую часть поверхности суши земли. В них сосредоточены огромные богатства генофонда растений и центры происхождения их видового разнообразия. Растительность гор насыщена эндемичными и краснокнижными видами растений. Здесь представлена значительная часть лесного фонда и сосредоточены уникальные запасы сырьевых растительных ресурсов. Она выполняет почвозащитную, водоохранную, водорегулирующую, противоселевую, противолавинную и противоэрозионную функции. Является местообитанием богатейшего генофонда многих видов диких животных и пастбищными угодьями животноводства. Имеет важное рекреационное значение и как объект туризма.

Разработанная в книге концепция сопряженного градиентного и хронобиологического анализа наиболее сложных для исследования горных растительных систем позволит выяснить уязвимость и временной ход изменений характеристик растительных систем в горах. Даст возможность выполнить инновационные рекомендации по сохранению биоразнообразия, ресурсной ценности, защитно-охранной роли и поддержанию биологической устойчивости растительного покрова гор.

Совершенно очевидно, что фиксируемые при хронобиологическом анализе изменения характеристик растительных систем детерминируются многими факторами, которые пока остаются за пределами поля зрения исследователей. И, хотя хронобиологический анализ не может

в исчерпывающей мере раскрыть биологическую суть происходящих процессов, он позволит на количественном уровне выяснить реакцию характеристик растительных систем во времени изменения климатических условий. Даст возможность статистически достоверно определять числовые оценки степени уязвимости растительных систем, получать графические линии регрессии характеристик и аналитические формулы, отражающие временной ход их изменения. Даст возможность оценивать стабильность или уязвимость каждой растительной системы в динамике ее развития, достоверно выявить основные направления, характер, скорость и величину изменений важнейших характеристик растительных систем. Выяснит вариабельность характеристик растительных систем во времени изменения климата. Поможет определить реактивность и чувствительность системообразующих компонентов растительных ассоциаций, индикаторных представителей растительной системы, величины сдвигов их характеристик по времени изменения климата и позволит сделать объективные заключения об их устойчивости. Обнаружит такие сдвиги характеристик растительных систем, которые окажутся существенными, угрожают выживаемости растительных систем, превышают уровень их адаптационной способности и свидетельствуют об их высокой чувствительности и уязвимости. А уже на этой дифференцированной основе полученных знаний удастся оценивать стабильность или уязвимость анализируемых растительных систем в целом. И выполнить все это можно, как во время глобального потепления, так и похолодания. В динамике развития трансформации растительного покрова за любой период изменения климата и на сколь угодно большом объеме накопленного статистического материала. Для любого пункта и растительного объекта территории Земли.

Вся информация, полученная в результате применения разработанной методологической основы хронобиологического анализа, необходима для понимания происходящего сейчас изменения растительного покрова. Она позволит лучше подготовиться к последствиям трансформации растительных систем. С ее помощью удастся выяснить генеральное направление изменений устойчивости и уязвимости растительных систем, получить основу для всестороннего и углубленного знания реактивности растительных систем на изменение климата и принятия действенных мер по предотвращению их разрушения. Это даст возможность разрабатывать стратегию управления растительным покровом и рационального природопользования, которая поможет ослабить вредные последствия изменений климата. Притом решать такую задачу удастся для любого

региона, где имеются преемственные, многолетние достоверные результаты наблюдений. И сделать это можно будет даже тогда, когда видимых признаков (сокращения ареалов, исчезновения видов растений, разрушения растительных систем и т.п.) еще не происходит.

Применение разработанной в книге концептуальной и методологической основы хронобиологического анализа растительных систем позволит получать инновационные результаты исследований и развивать новые направления таких важнейших наук как экология, геоботаника, фитоценология, биогеоценология, ботаническое ресурсоведение, растениеводство, лесоводство, систематика, генетика и интродукция растений. В данной связи к числу актуальных можно отнести следующие новые направления хронобиологических исследований в период изменения климата.

- Хронобиологический анализ климатогенного смещения координат местообитания, разнообразия видового состава природных растительных систем, трансформации их вертикальной и горизонтальной структуры. Дифференциации биологической продуктивности, структуры ценопопуляций растений на видовом и внутривидовом (формовом) уровне. Фенологических, морфологических, анатомических, физиологических, биохимических реакций растений на изменение климата. Конкурентных межвидовых взаимодействий и консортивных связей растений. Динамики биоценотической среды. Изменения генофонда растений. Процессов естественного самовосстановления растительных систем. Движения емкости экологических ниш пригодных для их заселения доминирующими растениями. Происходящих в период глобального потепления изменений почвозащитной, противоселевой, противолавинной, водорегулирующей, водоохранной, бальнеологической и рекреационной роли растительного покрова.

- Диагностика начала кризисных явлений в растительных системах. Анализ кризисного порога изменения числовых характеристик биотических связей в биоценозах, а также показателей жизнеспособности растений и естественного самовосстановления растительных систем. Исследования временного хода, кризисной трансформации внутренней структуры и продуктивности растительных систем в период изменения климата. Определение территориальных границ развития кризиса исторически сложившихся растительных систем.

- Исследования климатогенной динамики ресурсной ценности видов растений. Хронобиологический анализ смещения их экологического и

фитоценотического оптимумов. Анализ трансформации сочетаемости и динамики полезных свойств, с которыми связана сырьевая ценность растительной продукции. Мониторинг границ местообитаний, где растения имеют наилучшие характеристики жизнеспособности и продуктивности, а также режим накопления биологически активных соединений при изменении климата. Решение задач поиска в природе, заготовки и выращивания в культуре растений с заранее заданными полезными качествами.

- Интерполяционное прогнозирование результатов хронобиологического анализа трансформации жизнеспособности, свойств растений и формируемых ими растительных систем в новых климатических условиях, изменений структуры и среды растительных сообществ, биоразнообразия и взаимодействия организмов в сообществах, нового географического распределения фитоценозов, изменения их классификации. Регулярное обновление картографических материалов растительного покрова. Интерполяционное прогнозирование происходящих в период трансформации климата изменений почвозащитной, противоселевой, противолавинной, водорегулирующей, водоохранной, бальнеологической и рекреационной роли растительного покрова.

- Разработка щадящего режима природопользования и заповедания природных объектов в период изменения климата. Хронобиологический анализ климатогенной дифференциации основных типов адаптационной стратегии видов растений в изученные периоды жизни природных растительных систем. Исследования принадлежности видов растений к соответствующему типу стратегии адаптации. Разработка экологически обоснованных мероприятий по поддержанию биологического разнообразия и сохранению генофонда растений, стабильности структуры и продуктивности их природных популяций, содействию самовосстановления природных растительных систем. Обоснование и выделение в натуре особо охраняемых растительных систем.

- Хронобиологический анализ реакции, свойств и перспективности интродуцируемых растений. Разработка критериев для принятия объективного экспертного заключения о перспективности интродуцентов на основе хронобиологического анализа динамики их характеристик. Хронобиологические исследования и интерполяционное прогнозирование результатов интродукции растений в новые регионы в режиме меняющегося климата.

- Создание ресурсосберегающих технологий растениеводства; технологий пользования арктической, тундровой, лесной, луговой, степной,

пустынной и интрозональной растительностью, позволяющих ослабить нежелательные изменения почвозащитной, противоселевой, противолавинной, водорегулирующей, водоохранной, бальнеологической и рекреационной роли растительного покрова в период трансформации климата.

В свете всего вышеизложенного хронобиология теперь уже должна рассматриваться как важнейшая междисциплинарная наука, к числу главных функций которой относится выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о трансформации биологических систем в режиме глобального изменения климата. И в этом аспекте предложенный выше перечень новых актуальных направлений хронобиологических исследований биологических систем может быть значительно пополнен. Вместе с тем уже теперь становится ясно, что для развития фундаментальных исследований, их скорейшей окупаемости и стимуляции целесообразно использовать и финансовые возможности бизнеса.

Для высокой заинтересованности бизнеса в развитии хронобиологического анализа растительных систем и его быстрой окупаемости в ближайшее время наибольший эффект будет получен от изучения растений с коротким циклом роста и развития. А это как раз многие из тех растений, которые обеспечивают пищевую и сырьевую безопасность стран. В том числе: пшеница, рожь, ячмень, овес, рис, бобовые, многие плодово-овощные, медоносные, лекарственные, технические растения. Хронобиологический анализ таких объектов уже через 8-12 лет позволит получить научную основу, которая с 99%-ной вероятностью будет отражать истинную картину их климатогенной трансформации и даст возможность разработать рекомендации по размещению плантаций этих растений и прибыльному ведению бизнеса в режиме меняющегося климата. Тем самым удастся обеспечить старт активного развития, финансирование, материальную и кадровую базу для хронобиологических исследований также и всех других важнейших растительных объектов.

Чтобы привлечь и реализовать возможности бизнеса для самоокупаемости хронобиологических исследований необходимо выполнить следующее:

- создать сеть системно-организованных хронобиологических стационаров для изучения ключевых объектов растительных систем;
- сформировать контрольную базу данных для выполнения хронобиологического анализа, экологического мониторинга и интерполяционного прогнозирования изменения растительных систем во время глобальной трансформации климата;

- регулярно пополнять банк данных выполненных хронобиологических исследований динамики характеристик и уязвимости растительных систем ключевых объектов;
- формировать банк данных результатов интерполяционного прогнозирования характеристик растительных систем полученных на основе хронобиологического анализа ключевых объектов в динамике трансформации климата;
- планировать и финансировать длительность хронобиологических исследований с учетом необходимости постоянной корректировки научной основы и рекомендаций по размещению и прибыльному ведению бизнеса адекватно режиму меняющегося климата;
- разработать основу для решения следующих задач: 1) выбора направления развития бизнеса в период изменения климата, 2) проектирования рационального размещения объектов бизнеса, 3) корректировки агротехнических приемов растениеводства в режиме изменения климата;
- разработать методы оценки экономической эффективности и получения прибыли при ведении бизнеса на основе рационального природопользования в период изменения климата.

Предвидеть неизбежное и ослаблять случившееся. Эта мудрость,работанная всем опытом людей, как нельзя точнее определяет стратегию изучения и управления растительными ресурсами при глобальных изменениях климата. Решение проблемы предвидения неизбежного как раз и обеспечивается реализацией перечисленных выше направлений хронобиологического анализа. Обобщение и анализ результатов этих исследований позволят своевременно подготовиться к назревающей катастрофе. Определить важнейшие мероприятия для перестройки хозяйства, социальной политики, занятости населения, сохранения жизнеспособности стран в целом. Тем самым в значительной степени удастся смягчить и ослабить возможные последствия изменения климата.

Вместе с тем решение проблемы ослабления вредных последствий неблагоприятных для человека изменений растительного покрова видится также еще и в активном вмешательстве в спонтанно происходящий природный процесс смены растительного покрова. Но уже с высокой степенью уверенности в результатах. В управляемом режиме. В режиме согласованном с глобальными изменениями климата и, одновременно, с потребностями человека.

Выполнить такую работу можно только путем интродукции тех видов растений, которые оптимально подходят для местности и обладают

наиболее ценными свойствами. Тогда удастся значительно сократить сроки восстановления растительного покрова. Исключить нежелательное направление сукцессии сообществ. Получить максимально возможную для новых климатических условий биологическую продуктивность растений. Сократить неэффективные затраты труда и времени по восстановлению растительных ресурсов. Наконец – миновать весьма неблагоприятные для человека последствия от возможного развития процесса опустынивания. Последнее особенно важно в свете непрерывно возрастающей численности людей и ограниченности территорий, пригодных для их расселения. И в данной связи к числу перечисленных выше актуальных и требующих незамедлительного решения проблем было бы целесообразным отнести еще одну, которая будет сопряжена с результатами хронобиологического анализа. Это – проблема формирования коллекционного фонда живых растений и создания хранилищ репродукционного материала для их использования в целях реставрации разрушающегося растительного покрова Земли на этапе изменения климата.

В одиночку никакая страна не сможет справиться с такими задачами. Для успешного решения проблемы оптимального формирования растительных ресурсов при глобальных изменениях климата уже сейчас необходимо на межгосударственном уровне организовать работу по подготовке к предстоящим интродукционным работам. Надо привести в повышенную готовность все имеющиеся на земном пространстве центры интродукции растений. Наладить их взаимодействие и обмен информацией. Организовать их работу как единую систему, оординированную в масштабе разнообразия всего экологического полигона земного шара. Упорядочить и унифицировать в них хранение и выдачу необходимых данных для целей прогнозирования результатов интродукции в регионы с меняющимся климатом. Создать необходимые банки для обмена семенного фонда и других видов репродукционного материала перспективных интродуцентов. Обеспечить их хранение.

Хронобиологические исследования должны быть обеспечены достаточным и стабильным финансированием, а также специально подготовленными высококвалифицированными кадрами исполнителей. Но для того, чтобы развивать исследования в указанных выше направлениях, помимо применения разработанной методологической основы и методов понадобится учитывать еще и особенности планирования длительности исследований. В данной связи для долго живущих растений длительность хронобиологических исследований должна соответствовать длительности жизни доминантов растительного покрова, т.к. с этим со-

пряжены процессы их плодоношения, естественного возобновления и самовосстановления растительных систем в целом.

Природа затеяла опаснейший для всего живого эксперимент. В ее распоряжении новый климат и время, которое он будет действовать. И пока никто не знает, как глубоки и длительны будут перемены. Но уже совершенно ясно, что они могут привести к огромным лишениям и бедам, вплоть до войн за место, где можно будет жить человеку. Промедление с развертыванием хронобиологических исследований приведет к непредсказуемым последствиям как в режиме природопользования, экологической и экономической безопасности стран, так и в сфере социальных отношений. Страны, которые запоздают в изучении роли смены климата, не смогут подготовиться к грядущим переменам. Они окажутся беспомощны не только в экологическом, экономическом, но и в политическом отношении. Поэтому изучение реакции растений на изменения климата – сегодня самая актуальная, центральная проблема разработки всех инновационных направлений биологии. Вместе с тем, – это и экологическая, экономическая, политическая проблема, в решении которой не поможет даже самое совершенное оружие. С надвигающейся угрозой никакая страна в одиночку справиться не сможет. Она общая для всего населения планеты. А потому и решать ее придется сообща.

ЛИТЕРАТУРА

Аврорин Н.А. Теоретические основы переноса и акклиматизации растений в Полярно-альпийском ботаническом саду//Тр. Бот. ин-та им. В.Л.Комарова АН СССР. Сер.6, вып.5. 1957.С. 89-92.

Агроклиматический справочник по Алма-Атинской области. Л. 1962. 219 с.

Алисов Б.П., Полтараус Б.В. Климатология. Изд. МГУ. М.1974. 299с.

Альтергот В.Ф. Действие повышенных температур и физиологически активных соединений на растения: Доклад-обобщение опубл. научн. работ на соиск. уч. степ. д-ра биол. Наук. Новосибирск, 1965. 55с.

Альтергот В.Ф. Действие повышенной температуры на растение в эксперименте и природе: 40-е Тимирязевское чтение. М. , 1981. 56с.

Анучин Н.П. Лесная таксация. Гослесбумиздат. М.-Л. 1952. 531 с.

Антропов И.Т. Медоносные растения Восточно-Казахстанской области и их рациональное использование. Автореф. канд. дисс. Алма-Ата. 1975. 23с.

Атлас СССР. М.1956. 194с.

Атлас лесов СССР. М. 1973.С.17-20.

Ахматов К.А. Адаптация древесных растений к засухе. Изд. Илим. Фрунзе.1976. 199с.

Байтулин И.О., Проскуряков М.А., Чекалин С.В. «Системно-экологический подход к интродукции растений в Казахстане». Часть 1и 2. Изд. Ылым. Алма-Ата. 1992. 300 с.

Беденко В.П. Фотосинтез. В кн. Эколого-физиологические исследования горных растений. Наука Казахской ССР. Алма-Ата. 1971. С.13-20.

Бейдеман Н.Н. Изучение фенологии растений. В кн. Полевая геоботаника. Т.П. Изд. АН СССР. М.-Л.1960. С.333-369.

Бейдеман Н.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Изд. Наука. Сиб. отделение. Новосибирск. 1974. 155с.

Белослюдова Л.Ф., Беденко В.П., Киселева Л.И. Краткая почвенно-климатическая характеристика районов исследования. В кн. Эколого-физиологические исследования горных растений. Наука Казахской ССР. Алма-Ата. 1971. С.5-12.

Беспаев С.Б., Проскуряков М.А. Жизнеспособность древесных растений в связи с ритмом их роста в аридных условиях.//Известия АН Казахской ССР. Сер. Биол. №6. Алма-Ата. 1981.С.15-20.

Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. Л., 1971. 380 с.

Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (тектология). Изд. 3, ч. 1-3. М.-Л. 1925-1929.

Бородко А.В. (ред.). Национальный атлас России. Том 1,2. Роскартография. М.2007.

Булгакова Л.Л. Медоносы кочевого пчеловодства. Изд. Мехнат, Ташкент.1989. 203 с.

Буренин Н.Л., Котова Г.Н. Справочник по пчеловодству. Агропромиздат. М. 1985. 286 с.

Быков Б.А. Еловые леса Тянь-Шаня, их история, особенности и типология. Алма-Ата, 1950. 128с.

Быков Б.А. Экологический словарь. Наука Казахской ССР. Алма-Ата. 1983.215 с.

Быков Б.А. Еловые леса Тянь-Шаня. Изд. Наука Казахской ССР. Алма-Ата.1985.141с.

Вавилов Н.И. Географическая изменчивость растений. Избранные труды. Т.У. Изд. «Наука». М.-Л.1965. С.120-126.

Вавилов Н.И. Интродукция растений в советское время и ее результаты. (Докл. на конф. бот. садов при АН СССР, январь, 1940)// Избр. тр. Т.5. М.- Л. 1965. С.674-689.

Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской субарктике. Наука. Новосибирск.1996. 324с.

Ваганов Е.А., Шиятов С.Г. Роль дендроклиматических и дендрогидрологических исследований в разработке глобальных и региональных экологических проблем (на примере азиатской части России) //Сибирский экологический журнал. Т.У1, №2.1999. С.111-115.

Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т.1.Тропические и субтропические зоны. Изд. Прогресс. М., 1968. 551 с.

Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Т.П. Леса умеренной зоны. Изд. Прогресс. М., 1974. 423 с.

Василевич В.И. Статистические методы в геоботанике. Л.1969. 232 с.

Василевич В.И. Очерки теоретической фитоценологии. Изд. Наука. Ленинград.1983. 246с.

Ведюшкин М.А., Колосов П.А., Минин А.А., Хлебопрос Р.Г. Климат и растительность суши: взгляд с позиций явления гистерозиса. //Лесоведение, №1, 1995. С.3-14.

Венгеров П.Д., Сапельникова И.И., Базильская И.В., Масалыкин А.И. Климатические изменения и вызываемые ими прямые и косвенные эффекты в Воронежском заповеднике. В. кн. Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Под ред. А.Кокорина, А.Кожаринова, А.Минина. Русский университет, ч.2. М.2001.С.39-47.

Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Изд . Наука. М. 1969. 576 с.

Вернадский В.И. Ход жизни биосферы. //Природа. № 10-12. 1925. С.17-30.

Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.- Л. 1927. 365 с.

Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т.5 Биосфера. М., 1960. 256 с.

Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Под ред. А.Кокорина, А.Кожаринова, А.Минина. Русский университет. Часть 1 и 2. М.2001.

Волков А.М., Габдеев И. И., Яныбаева В.А., Жирнова Т.В., Багаутдинова З.Т. Климатические флуктуации и изменение природных систем Башкирского заповедника. В кн.: Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Под ред. А.Кокорина, А.Кожаринова, А.Минина. М.Русский университет, ч.2, 2001. С. 62-69.

Воскова А.В. Современные фенологические тенденции в природе центральной части Российской равнины. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук., М.,2006. 26 с.

Воскова А.В., Минин А.А. Современные тенденции изменения продолжительности вегетационного периода в центральной части Русской равнины. В сб. Геология в школе и Вузе: геология и цивилизация. Материалы 1У Международной конференции. Изд. Эпиграф. СПб,2005. С.273-275.

Второе Национальное сообщение Республики Казахстан Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Астана,2009. 190 с.

Выгодская Н.Н. Радиационный режим и структура горных лесов. Гидрометеиздат. Ленинград. 1981. 261.

Гаазе-Рапопорт М.Г. Кибернетика и теория систем. Сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1973.С.38-51.

Глухов М.М. Важнейшие медоносные растения и способы их разведения. Сельхозгиз. М.1937. 529с.

Головкин Б.Н. Культигенный ареал растений. М.1988. 184 с.

Гордиенко Н.С., Леванова Т.А. Анализ многолетних фенологических изменений природы Ильменского заповедника. В кн. Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Под ред. А.Кокорина, А.Кожаринова, А.Минина. Русский университет. М.2001. С.9-15.

Гордиенко Н.С., Минин А.А. Фенологические тенденции последних десятилетий в природе Южного Урала. Известия РАН, сер. географ., №3. 2006. С. 48-56.

Горохов В.Г. Множественность представлений системы и постановка проблемы системного эталона.// В сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1972. С. 72-78.

Грудзинская Л.М. Анис обыкновенный в предгорьях Заилийского Алатау. В кн. Биологические основы селекции и генофонда растений// Материалы Междунар. науч. конф. Алматы. 2005. С. 57-60.

Грудзинская Л.М. Формирование базы данных по интродуцированным лекарственным растениям (на примере *Ammi majous* L.) . Растительный мир и его охрана. Тр. Междунар.научн.конф посвященной 75-летию Института ботаники и фитоценологии. 12-14 сентября 2007 г. Алматы.2007. С.203-206.

Грудзинская Л.М., Арыспаева Р. Интродукционная оценка лекарственных растений семейства *Asteraceae* Dumort., культивирующихся в ботаническом саду г.Алматы. //Сб. Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Вып.17. Кемерово. 2011. С.141-156.

Гусева О.Г. Выживаемость колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) в летний период в условиях Ленинградской области. // Вестник защиты растений. №3.2004. С. 25-33.

Дарвин Ч. Происхождение видов. М.- Л.,1937.762 с.

Дарвин Ч. Сочинения.1896. Т.1-4. 516 с.

Декандоль А. Введение в изучение ботаники. Т.1. М., 1839.241 с.

Джангалиев А.Д. Взаимосвязь яблоневых насаждений с почвенными условиями их произрастания. ВНИИТЭИСХ.М.1973.152с.

Джангалиев А.Д. Роль яблони в растительном покрове и классификация условий произрастания яблонников горных районов Казахстана. Деп. ВИНТИ. Алма-Ата.1974. 161с.

Дзенс-Литовская Н.Н. Материалы для изучения еловых лесов Киргизской АССР.//Тр. Ин-та по изуч. леса АН СССР. Т.1. 1933. С.50-65.

Доклад «О стратегических оценках последствий изменений климата в ближайшие 10-20 лет для природной среды и экономики Союзного государства». 2010. www.meteorf.ru/pub/get-file.aspx.

- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Колос, М.1987. 336 с.
- Едророва В.Н., Малафеева М.В. Общая теория статистики. Изд. Магистр. М. 2007. 606с.
- Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. Изд. Наука. М.1981.120с.
- Иванов Л.С. Учение о растительных маслах в свете эволюционной теории. М.,1924. 285 с.
- Ипатов В.С. Осторожно – биометрика. (Об использовании оценок «достоверности» при исследовании количественных закономерностей).//Ботанический журнал. Том 95, №10. 2010. С. 1494-1498.
- Карпов В.Г. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. Л., 1969. 335 с.
- Киреев Д.М. Эколого-географические термины в лесоведении. (Словарь-справочник). Изд. Наука. Сиб. отделение. Новосибирск.1984.182 с.
- Кобышева Н.В. (ред.). Климат России. СПб. Гидрометеиздат. 2001. 655с.
- Ковалев А.М., Нуждин А.С., Полтев В.И., Таранов Г.Ф. Учебник пчеловода. Изд.5-е. «Колос». М.1973. 432 с.
- Кокорева И.И. Адаптационные стратегии поликарпических видов растений Северного Тянь-Шаня. Труды Ин-та ботаники и фитоинтродукции МОН РК, т.1(17). Алматы .2011а. 208с.
- Кокорева И.И. Встречаемость видов плодовых растений в Заилийском Алатау (Северный Тянь-Шань) в зависимости от инсолируемости мест обитания. //Вестник Кыргызского национального аграрного университета. Мат-лы Междунар. научно-практ. конф «Сохранение и устойчивое использование биоразнообразия плодовых культур и их диких сородичей». 17 июня 2011. Бишкек.2011. С.34-38.
- Кокорева И.И., Лысенко В.В. Особенности распределения дикоплодовых сообществ в Заилийском Алатау (Северный Тянь-Шань). //Вестник Кыргызского национального аграрного университета. Мат-лы Междунар. научно-практ. конф «Сохранение и устойчивое использование биоразнообразия плодовых культур и их диких сородичей». 17 июня 2011. Бишкек.2011. С.29-33.
- Коновалов И.Н. Акклиматизация растений как эколого-физиологическая проблема//Тр. Бот ин-та им. В.Л.Комарова АН СССР. Сер.6, вып.5. 1957.С.37-47.
- Костюкевич Н.И. Лесная метеорология. Высшая школа. Минск.1975. 289с.
- Котова Г.Я. Медоносная база пчеловодства. Справочник по пчеловодству. Колос, М.1985. С. 162-177.

- Кретович В.Л. Основы биохимии растений. М., 1961. 350 с.
- Культиасов М.В. Тау-сагыз и экологические основы введения его в культуру. М.-Л., 1938. 212 с.
- Культиасов М.В. Эколого – исторический метод в интродукции растений. //Бюлл. ГБС АН СССР. Вып. 15. М. 1953. С. 24-39.
- Культиасов М.В. Экологические основы интродукции растений природной флоры //Тр. ГБС АН СССР. Т. 9. М. 1963. С. 3-37.
- Курочкина Л.Я. Псаммофильная растительность пустынь Казахстана. Алма-Ата. 1979. 271 с.
- Лавренко Е.М., Андреев В.Н., Леонтьев В.Л. Профиль продуктивности наземной части природного растительного покрова СССР от тундр к пустыням //Бот. журн. Т. 40. №3. 1955. С. 15-18.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. «Высшая школа». М. 1990. 351 с.
- Малеев В.П. Теоретические основы акклиматизации растений. Л., 1933. 160 с.
- Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. Форма изменчивости. //Тр. Ин-та экологии растений и животных. Вып. 60. 1968. С. 3-54.
- Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. Амплитуда изменчивости. //Тр. Ин-та экологии растений и животных. Вып. 64. 1969. С. 3-38.
- Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики древесных растений. Экологическая изменчивость. //Тр. Ин-та экологии растений и животных. Вып. 82. 1971. С. 3-29.
- Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М., 1972. 271 с.
- Манойленко К.В. Эволюционные аспекты проблемы засухоустойчивости растений. Наука. Л. 1988. 244 с.
- Медведев А.Н. Экологические основы лесовосстановления и лесоразведения в поясе еловых лесов Северного Тянь-Шаня. Автореф. докт. дисс. Алма-Ата. 1975. 54 с.
- Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М. 1975. 27 с.
- Методика интродукционных исследований в Казахстане. (Отв. ред. Проскуряков М.А.). Наука. Алма-Ата. 1987. 136 с.
- Минин А.А. Климат и экосистемы суши: взаимосвязи и пространственно-временная изменчивость состояний. //Сб. Итоги науки и техники. Сер. метеорология и климатология. ВИНТИ. Т. 19. М. 1991. 172 с.

Минин А.А. Фенология Русской равнины: материалы и обобщения. Изд. АБФ/АБФ. М. 2000. 160с.

Минин А.А. Перспективы фенологического мониторинга в России. В кн. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. ХУШ, СПб, Гидрометеиздат, 2002. С.158-166.

Минин А.А. Фенологические особенности состояния экосистем Русской равнины за последние десятилетия. Изв. РАН, сер. геогр., №3, 2006. С.54-64.

Миньков С.Г. Медоносные растения Казахстана. Кайнар. Алма-Ата. 1974. 300 с.

Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. Изд. Наука. М. 1978. 211 с.

Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М. 1971. 576с.

Моисеев Р.К., Кукенов М.К., Бекетаев Б.Б., Гемеджиева Н.Г. О содержании алкалоидов в некоторых видах аконитов флоры Тянь-Шаня. В Кн. Лекарственные растения Казахстана. Ғылым, Алма-Ата. 1992. С.100-109.

Морозов Г.Ф. Учение о лесе. Л., 1926. 368 с.

Никаноров С.П. Системный анализ и системный подход. // В сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М. 1972. С.55-71.

Общие теоретические проблемы биологической продуктивности. Л., 1969. 315 с.

Одум Ю. Основы экологии. Изд. Мир. М. 1975. С.31-32.

Онищенко В.В., Салпагаров А.Д., Дега Н.С. Анализ гидроклиматических и фенологических данных Северного Кавказа (Тебердинский заповедник). В кн. Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Под ред. А.Кокорина, А.Кожаринова, А.Минина. Русский университет. М. 2001. С. 101-105.

Осипов И.Н., Реймерс А.Н., Рымкевич Ю.И. Сопряженный анализ многолетних климатических и биологических данных в Приокско-Террасном заповеднике. В кн. Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Под ред. А.Кокорина, А.Кожаринова, А.Минина. Русский университет. М. 2001. С. 56-61.

Основные положения ведения лесного хозяйства Алма-Атинской области. Алма-Ата. 1985. С.458-467.

Основные положения ведения лесного хозяйства Алма-Атинской области. Алматы. 1994. С.429-433.

Основные положения организации и развития лесного хозяйства Восточно-Казахстанской области. Алма-Ата. 1977. 373с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т.1. Изменения климата. М.2008. 227с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т.П. Последствия изменения климата. Росгидромет.М. 2008. 236с. <http://www.worldwarming.info/modules.html.name>.

Парамонов Е.Г., Терехов К.М. Особенности произрастания хвойных древесных пород в Северо-Восточном Алтае. Материалы II международной конференции «Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее». Горно-Алтайск. 2010. С.220-224.

Плиса Р.П. Изменение растительности дельты реки Или при зарегулировании стока. Изд. Наука Казахской ССР. Алма-Ата. 1981.214 с.

Покровская Т.В. (ред.). Климат СССР. Гидрометеиздат. 6 томов. 1958. Полевая геоботаника. Изд. АН СССР. Т. 1 – У. М.-Л. 1959-1976.

Пономарев А.Н. Изучение цветения и опыления у растений. Полевая геоботаника. Т.П. Изд. АН СССР. М.-Л. 1960.С.9-20.

Программа и методика биогеоэкологических исследований. Изд. Наука. М.1974. 402 с.

Проскуряков М.А. Биология цветения и плодоношения ели тяньшанской. Кайнар. Алма-Ата. 1965.125с.

Проскуряков М.А. Горизонтальная структура ельников Тянь-Шаня. В кн. Итоги изучения лесов Дальнего Востока. Реф. докл. совещ. Владивосток. 1967. С.82-84.

Проскуряков М.А. Закономерности формирования пространственной структуры древостоев горных еловых лесов Тянь-Шаня. //Лесоведение, №6.1971а. С.3-10.

Проскуряков М.А. Влияние факторов среды на горизонтальную структуру еловых насаждений Северо-восточного Тянь-Шаня. В кн.: Пятое Всесоюзное совещание по вопросам изучения и освоения флоры и растительности высокогорий, Тез. докл. Баку, 1971б. С.156-158.

Проскуряков М.А. К методике изучения распределения солнечной радиации в низкополнотных темнохвойных лесах. В кн. Биологические ресурсы суши севера Дальнего Востока. Тр. Биолого-почвен. Ин-та ДВНЦ АН СССР, т.П. Владивосток.1971в. С.118 – 121.

Проскуряков М.А. Размещение деревьев в еловых биогеоценозах Северо-Восточного Тянь-Шаня.//Известия Академии наук Казахской ССР, серия биол. №1,1972.С.23-30.

Проскуряков М.А. Методика анализа размещения елового древостоя по элементам микрорельефа в горах Тянь-Шаня. //Экология. (Поступила в редакцию 20 июня 1972г.) №2.1973а. С.90-91.

Проскуряков М.А. Некоторые итоги исследования строения еловых лесов Алма-Атинского заповедника. В кн. Животный и растительный мир заповедников Казахстана. Тр. Главн. упр. заповедников и охот. хоз-ва при Совете Мин. Казахской ССР. Т.Ш, Алма-Ата. 1973б. С.113-118.

Проскуряков М.А., Хомулло О.Н. Экспериментальный анализ дифференциации всходов ели Шренка В кн. Животный и растительный мир заповедников Казахстана. Тр. Главн. упр. заповедников и охот. хоз-ва при Совете Мин. Казахской ССР. Т.Ш, Алма-Ата. 1973в. С.119-150.

Проскуряков М.А. Принципы эмпирического моделирования возможностей территориального распределения ели в лесах Тянь-Шаня. (Поступила в редакцию 7 декабря 1972). //Экология, №3. 1974. С.20-28.

Проскуряков М.А. Оценка возобновления ели Шренка. //Лесное хозяйство. №2.1975. С.32-34.

Проскуряков М.А. Встречаемость арчи полушаровидной в зависимости от распределения солнечной радиации в лесу. В.кн. Тезисы докл. УП Всесоюзн. Совещания по вопр. изучения и освоения флоры и растительности высокогорий. Новосибирск. 1977. С.179-180.

Проскуряков М.А. Методика построения эмпирической модели размещения деревьев в горных лесах. //Известия Академии наук Казахской ССР, сер. биол, №1, 1978. С.17-24.

Проскуряков М.А. Новое в методике оценки возобновления горных лесов. В кн. Развитие географии в Казахстане. Мат-лы 1 Географического съезда Каз ССР. Алма-Ата. 1979а. С.61-62.

Проскуряков М.А. К методике оценки успешности естественного возобновления горных лесов. Кн. Биоценологические исследования еловых лесов Прииссыккуля. Илим. Фрунзе. 1979б. С.78-85.

Проскуряков М.А. Региональные модели обилия лесообразующих пород как основа комплексных биоценологических исследований в горных лесах. Кн. Биоценологические исследования еловых лесов Прииссыккуля. Илим. Фрунзе. 1979в. С.74-77.

Проскуряков М.А. Закономерности формирования пространственной структуры древостоев темнохвойных горных лесов Тянь-Шаня и Рудного Алтая. Автореф. дисс. докт. биол. Наук. Красноярск. 1982. 44с.

Проскуряков М.А. Горизонтальная структура горных темнохвойных лесов. Изд. Наука Каз ССР, 1983. 215 с.

Проскуряков М.А. Интерполяционный подход к решению задач прогноза в интродукции растений. // Вестник с.-х. науки Казахстана, №3. 1985а. С.73-76.

Проскуряков М.А. Экологические шкалы встречаемости лесообразующих пород. Рекомендации по оценке успешности естественного возобновления. В кн. Основные положения ведения лесного хозяйства в Алма-Атинской области. Алма-Ата. 1985б. С.458-467.

Проскуряков М.А., Пусурманов Е.Т., Кокорева И.И. Изменчивость древесных растений в горах (методические вопросы исследования). Изд. Наука, Алма-Ата. 1986. 130 с.

Проскуряков М.А., Рубаник В.Г. Опыт и перспективы прогнозирования результатов интродукции древесных растений в Казахстане. // Бюллетень Главного ботанического сада. Вып.140. Наука. М.1986. С.55-58.

Проскуряков М.А. Паспортизация центров интродукции растений в Казахстане. В кн. Методика интродукционных исследований в Казахстане. Наука. Алма-Ата. 1987. С.122-129.

Проскуряков М.А., Чекалин С.В., Кабанов С.П. Применение интерполяционного подхода в интродукции растений. *Folia dendrologika*. 14/87. Bratislava. 1987. С.123-128.

Проскуряков М.А. Комплексирование ботанических садов Средней Азии и Казахстана для решения задач интерполяционного прогноза результатов интродукции растений. Материалы выездной сессии Совета ботанических садов Средней Азии в Ленинабаде. Ленинабад. 1989. С.98-101.

Проскуряков М.А. Прогноз биологического разнообразия растений при интродукции. В кн. Роль ботанических садов в современном урбанизированном мире. Докл. 1У Международного конгресса европейско-средиземноморского отделения международной ассоциации бот. садов. Тбилиси. 1991. С.144-145.

Проскуряков М.А. Экологические шкалы встречаемости лесообразующих пород. В кн. Основные положения организации и развития лесного хозяйства Алма-Атинской области. Алма-Ата. 1994а. С.421-428.

Проскуряков М.А. Рекомендации по оценке успешности естественного возобновления. В кн. Основные положения организации и развития лесного хозяйства Алма-Атинской области. Алма-Ата. 1994б. С.429-433.

Проскуряков М.А. К проблеме надвигающейся экологической катастрофы на Юго-Востоке Казахстана. // Вестник КазГУ. Серия экологическая, № 5. 1999. С.183-188.

Проскуряков М.А. К проблеме фенологической изменчивости медоносной базы Южного Прибалхашья. В кн. Итоги и перспективы развития ботанической науки в Казахстане. Мат. междунар. конф. Алматы. 2002а. С.313-315.

Проскуряков М.А. Влияние режима максимальной температуры воздуха на продуктивность медоносной базы Южного Прибалхашья. В кн. Итоги и перспективы развития ботанической науки в Казахстане. Мат-лы междунар. конф. Алматы. 2002б. С. 315- 317.

Проскуряков М.А. Температурный оптимум для нектаровыделения в Южном Прибалхашье. В кн. Изучение растительного мира Казахстана и его охрана. Мат-лы междунар. конф. Алматы. 2003 . С. 288-290.

Проскуряков М.А. Роль температурного режима в изменчивости медоносной базы Южного Прибалхашья. //Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. №1(247). Алматы. 2005. С.10-17.

Проскуряков М.А. Мониторинг нектаровыделения растительных сообществ в условиях глобальных изменений климата. В кн. Исследования растительного мира Казахстана. Сб. тр. III Международн. Конф. Алматы. 2006. С.123-128.

Проскуряков М.А. О восстановлении растительных ресурсов при глобальных изменениях климата. В кн. Растительный мир и его охрана. Тр. Междунар. конф. Алматы. 2007а. С.369-371.

Проскуряков М.А. Мониторинг медоносной базы и изменение климата. Ж. Пчеловодство. №4. Москва. 2007б. С.19-22.

Проскуряков М.А. Актуальные задачи мониторинга медоносной базы. //Известия НАН РК. №2(260). Серия биологическая и медицинск. Алматы. 2007в. С. 55-61.

Проскуряков М.А. Хронобиология растений при изменении климата. Материалы докл. научн. конф. 21-22 ноября в г. Алматы. //Сб. «Проблемы обеспечения биологической безопасности Казахстана». Алматы. 2008а. С.77-80.

Проскуряков М.А. Хронобиологические исследования перспективности интродуцированных растений. Материалы докл. научн. конф. 21-22 ноября в г. Алматы. //Сб. «Проблемы обеспечения биологической безопасности Казахстана». Алматы. 2008б. С.208-212.

Проскуряков М.А. Проблема восстановления растительных ресурсов при изменении климата. //Известия Национальной академии наук Республики Казахстан, №1. Серия биологическая и медицинская. Алматы. 2008в. С. 52-58.

Проскуряков М.А. Хронобиология растений в период изменения климата. //Известия НАН РК. Серия биологическая и медицинская. №3(273). Алматы. 2009а. С. 69-75.

Проскуряков М.А. Хронобиология кризиса медоносной базы. //Пчеловодство. №9. 2009б. С. 22-23. http://www.beekeeping.orc.ru/Articles/n909_22.htm.

Проскуряков М.А. Методика хронобиологического анализа медоносной базы. //Пчеловодство, №3, Москва. 2009в. С.20-22. http://www.beekeeping.orc.ru/Articles/n309_20/htm.

Проскуряков М.А. Методика хронобиологического анализа растений // Известия НАН РК, серия биол. и медиц., №4 (274). Алматы. 2009г. С. 53-57.

Проскуряков М.А. Градиентный и хронобиологический анализ растительных ресурсов в горах. //Сб.Актуальные проблемы ботанического ресурсоведения». Мат. Междунар. Науч. конф. 12-13 мая 2010 г. Уш Киян. Алматы. 2010а. С.14-17.

Проскуряков М.А. Проблема дифференциации растительного покрова в горах. Сб. «Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее». //Материалы II междунар. конф. Россия, Республ. Алтай, г. Горно-Алтайск. 20-24 сент. 2010б г. С.114-118. <http://e-lib/gasu/konf/biodiversiti/index/html>.

Проскуряков М.А. Методика хронобиологического анализа фенофаз медоносов.//Пчеловодство, №1, М.2011а. С.20-2. http://www.beekeeping.orc.ru/Articles/n909_22.htm.

Проскуряков М.А. Системный анализ трансформации растительного покрова при изменении климата. Сб. «Актуальные проблемы геоботаники». Материалы Международной науч. конф. Алматы. 2011б. С.330-336.

Проскуряков М.А. Градиентный и хронобиологический анализ горных плодовых лесов.// Вестник Кыргызского национального аграрного университета. №2(20). Материалы междунар. конф. «Сохранение и устойчивое использование биоразнообразия плодовых культур и их сородичей». 17 июня. Бишкек. 2011в. С.120-125.

Пятое национальное сообщение Российской Федерации. М., 2010. 130 с.

Работнов Т.А. Экспериментальная фитоценология. Изд. МГУ. М. 1987. 160с.

Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М. 1938. 620 с.

Родин Л.Е. Ельники Джунгарского Алатау (Кетменский хребет) //Тр. Всесоюзн. геогр. съезда. Т.3. 1934а. С.339-342.

Родин Л.Е. Материалы к познанию лесов Тянь-Шаня. Северный склон Джунгарского Алатау. //Тр. Бот. ин-та АН СССР. Сер. 3, вып.1.1934б. С.273-300.

Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики биологического круговорота в фитоценозах. Изд. Наука. Ленингр. отд. Ленинград.1968.143 с.

Ролдугин И.И. Еловые леса Северного Тянь-Шаня. Изд. Наука Казахской ССР. Алма-Ата.1989. 303 с.

Рубин Б.А. Закономерности биохимической изменчивости растений в связи с проблемой акклиматизации //Интродукция растений и зеленое строительство. Тр. Бот. ин-та им. В.Д.Комарова АН СССР. Сер.6. вып. 5. 1957.С.50-58.

Русанов Ф.Н. Итоги интродукции и акклиматизации растений в Средней Азии//Тр. Бот. Ин-та им. В.Л.Комарова АН СССР. Сер. 6, вып.5. 1957. С. 50-58.

Садовский В.Н. Некоторые принципиальные проблемы построения общей теории систем. //В сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1972. С. 35-54.

Сахаров В.И. Методы оценки эколого-генетической структуры популяций древесных видов для выбора модели селекции. Алматы. 2006. 384с.

Садовничая Е.А. Определение некоторых характеристик радиационного режима в Западном Саяне. В. кн. «Стационарные лесоводственные исследования в Сибири». Красноярск.1978. с.33-52.

Садовничая Е.А. Роль солнечной радиации в дифференциации горных лесов Западного Саяна. Автореф. канд. дисс. Красноярск. 1980. 29с.

Садовничая Е.А., Чебакова Н.М. Радиационные факторы высотно-пооясной зональности Западного Саяна. //Сб. Стационарные лесоводственные исследования в Сибири. Красноярск.1978. С. 6-19.

Семенов С.М., Кухта Б.А., Гельвер Е.С. О нелинейности климатогенных изменений сроков фенологических явлений у древесных растений. Доклады РАН. Общая биология, т. 396. №3. 2004. С. 427-429.

Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. Выявление климатогенных изменений. Издательский центр «Метеорология и гидрология». М.2006. 324 с.

Серебряков И.Г. Биология тянь-шанской ели и типы ее насаждений в пределах Заилийского и Кунгей Алатау. Тр.бот. сада. Уч. зап., вып.82. кн. 5. 1945. С.103-175.

Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. Изд. Высшая школа. М.,1962.378 с.

Снедекор Д.У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. Перев. с англ. Сельхозгиз. М. 1961. 503 с.

Соболев Л.Н. Методика эколого-типологического исследования земель. Илим, Фрунзе, 1978. 111с.

Соболь Б.В., Борисова Л.В., Иваночкина Т.А., Пешхоев И.М. Практикум по статистике в Excel. Изд. Феникс. Ростов-на-Дону. 2010.382с.

Советский энциклопедический словарь. Изд. «Советская энциклопедия». М..1980. 1600с.

Соколов С.Я. Современное состояние теории акклиматизации и интродукции растений // Тр. Бот. Ин-та им. В.Л.Комарова АН СССР. Сер. 6, вып.2. 1957. С. 9-32.

Специальный доклад Рабочей группы II МГЭИК. Последствия изменения климата для регионов: оценка уязвимости.//Русский архипелаг. Copyright 2011.1997.<http://archipelag.ru/agenda/geoklimat/history/consequences/>.

Справочник по климату СССР. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Вып.18, Ч.1. Л.1967. С.15-28.

Стационарные лесоводственные исследования в Сибири. Под ред. Н.П.Поликарпова. Красноярск. 1978. 177с.

Столяров М.В. Саранча на юге России //Защита и карантин растений. №3. 1998. С. 16-17.

Сукачев В.Н. Основные понятия лесной биогеоценологии //Основы лесной биогеоценологии. М., 1964. С. 458-480.

Сукачев В.Н. Основы лесной типологии и биоценологии //Избр. тр. Т.1. Л., 1972. 418 с.

Сукачев В.Н., Зонн С.В., Мотовилов Г.П. Методические указания к изучению типов леса. Изд. Академии наук. М. 1957.114 с.

Тазабеков Т.Т. Плодородие горных и предгорных почв. Изд. Кайнар. Алма-Ата.1977. 190с.

Таранов Г.Ф. Промышленная технология получения и переработки продуктов пчеловодства. Агропромиздат. М. 1987. 318 с.

Тахтаджян А.Л. Тектология: история и проблемы. //Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1971.С.200-278.

Тимирязев К.А. Жизнь растений. М., 1949. 334 с.

Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. Изд. Прогресс. М. 1980. 328 с.

Фенологические наблюдения (организация, проведение, обработка). Унифицированное руководство для добровольной фенологической сети. Наука. Л. 1982. 223 с.

Филипченко Ю.А. Изменчивость и методы ее изучения. Изд. Наука. М. 1978. 238 с.

Урбах В.Ю. Математическая статистика для биологов и медиков. Изд. Академии наук СССР. М.1963. 322 с.

Хамидов Г. Медоносные ресурсы Узбекистана и пути их рационального использования. Автореф. докт. дисс. биол. наук. Ташкент, 1988. 48 с.

Чебакова Н.М. Зависимость роста хвойных пород от климатических факторов в лесах Западного Саяна. //Сб. Стационарные лесоводственные исследования в Сибири. Красноярск.1978. С.19-33.

Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2007. 117р. <http://www.climatechange.ru/node/>

Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. Изд. Мысль. М. 1976. 365с.

Чупахин В.М. Природное районирование Казахстана. Наука. Каз ССР. Алма-Ата. 1970. 262 с.

Чупахин В.М. Физическая география Казахстана. Изд. АН Каз ССР. Алма-Ата.. 1964. 372 с.

Шалатова Л.И. Влияние ориентации на таяние снежников. //Кн. Таяние снежников в горах Средней Азии. Ташкент.1956. С.190-201.

Шеляг-Сосонко Ю.Р., Крисаченко В.С., Мовчан Я.И. Методология геоботаники. Изд. Наукова думка. Киев.1991.270 с.

Шмойлова Р.А., Минашкин В.Г., Н.А.Садовникова. Практикум по теории статистики. Изд. Финансы и статистика. М. 2009. 415 с.

Эколого-физиологические исследования горных растений. Наука КазССР. Алма-Ата. 1971. 94с.

Юдин Б.Г. Становление и характер системной ориентации. //Сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука М.1972. С. 18-34.

Юдин Б.Г. Методологическая природа системного подхода. //Сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1973а. С.38-51.

Юдин Б.Г. Системные исследования в функциональном подходе.// Сб. Системные исследования. Ежегодник. Изд. Наука. М.1973б. С.108-126.

Climate Change. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., et al. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2001. 1032 p.

Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants: BBCH-Monograf. Federal Biologikal Research Centre for Agriculture and Forestry, Uwe Meier (ed), Berlin and Wien.1997.

Humboldt A. Jdeen zu einer Geographie der Pflanzen. Berlin, 1817. 215 p.

IPCC: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Technical Summary. 2007.

Menzel A. and Fabian P., Growing season extended in Europe, Nature, vol. 397. 1999. pp. 659.

Mayr H. Die naturgeseschthlicher Grundage des Waldbahnes. Berlin, 1909. 185 p.

Mayr H. Waldbau auf naturgeseschthlicher Grundage. Berlin, 1909. 315 p.

ПЕРЕСЧЕТ ДАТ С 1.03

Март Дата	Апрель День-дата	Май День-дата	Июнь День-дата	Июль День-дата	Август День-дата	Сентябрь День-дата
1	32==1	62==1	93==1	123==1	154==1	185==1
2	33==2	63==2	94==2	124==2	155==2	186==2
3	34==3	64==3	95==3	125==3	156==3	187==3
4	35==4	65==4	96==4	126==4	157==4	188==4
5	36==5	66==5	97==5	127==5	158==5	189==5
6	37==6	67==6	98==6	128==6	159==6	190==6
7	38==7	68==7	99==7	129==7	160==7	191==7
8	39==8	69==8	100==8	130==8	161==8	192==8
9	40==9	70==9	101==9	131==9	162==9	193==9
10	41==10	71==10	102==10	132==10	163==10	194==10
11	42==11	72==11	103==11	133==11	164==11	195==11
12	43==12	73==12	104==12	134==12	165==12	196==12
13	44==13	74==13	105==13	135==13	166==13	197==13
14	45==14	75==14	106==14	136==14	167==14	198==14
15	46==15	76==15	107==15	137==15	168==15	199==15
16	47==16	77==16	108==16	138==16	169==16	200==16
17	48==17	78==17	109==17	139==17	170==17	201==17
18	49==18	79==18	110==18	140==18	171==18	202==18
19	50==19	80==19	111==19	141==19	172==19	203==19
20	51==20	81==20	112==20	142==20	173==20	204==20
21	52==21	82==21	113==21	143==21	174==21	205==21
22	53==22	83==22	114==22	144==22	175==22	206==22
23	54==23	84==23	115==23	145==23	176==23	207==23
24	55==24	85==24	116==24	146==24	177==24	208==24
25	56==25	86==25	117==25	147==25	178==25	209==25
26	57==26	87==26	118==26	148==26	179==26	210==26
27	58==27	88==27	119==27	149==27	180==27	211==27
28	59==28	89==28	120==28	150==28	181==28	212==28
29	60==29	90==29	121==29	151==29	182==29	213==29
30	61==30	91==30	122==30	152==30	183==30	214==30
31		92==31		153==31	184==31	

**Критические значения корреляции на 5%-ном
и 1%-ном уровне значимости**

Степени свободы ($n - 2$)	0,05	0,01	Степени свободы ($n - 2$)	0,05	0,01	Степени свободы ($n - 2$)	0,05	0,01
1	0,997	1,000	16	0,468	0,590	35	0,325	0,418
2	0,950	0,990	17	0,456	0,575	40	0,304	0,393
3	0,878	0,959	18	0,444	0,561	45	0,288	0,372
4	0,811	0,917	19	0,433	0,549	50	0,273	0,354
5	0,754	0,874	20	0,423	0,537	60	0,250	0,325
6	0,707	0,834	21	0,413	0,526	70	0,232	0,302
7	0,666	0,798	22	0,404	0,515	80	0,217	0,283
8	0,632	0,765	23	0,396	0,505	90	0,205	0,267
9	0,602	0,735	24	0,388	0,496	100	0,195	0,254
10	0,576	0,708	25	0,381	0,487	150	0,159	0,208
11	0,553	0,684	26	0,374	0,478	200	0,138	0,181
12	0,532	0,661	27	0,367	0,470	300	0,113	0,148
13	0,514	0,641	28	0,361	0,463	400	0,098	0,128
14	0,497	0,623	29	0,355	0,456	500	0,088	0,115
15	0,482	0,606	30	0,349	0,449	1000	0,062	0,081

Содержание

Предисловие	3
Введение	6
Глава 1. Проблема хронобиологического анализа	10
Глава 2. Методологическая основа анализа.....	34
Глава 3. Опыт исследований	67
Глава 4. Особенности анализа на плакорах	118
Глава 5. Особенности анализа в горах	160
Общее заключение	196
Литература	210
Приложения	226

Михаил Александрович Проскуряков

**ХРОНОБИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

Подписано в печать 21.05.2012. Формат 70×100¹/₁₆. Бумага офсетная.
Усл. п. л. 14,25. Тираж 1000 экз. Заказ 369.

Издано в ТОО «Издательство LEM».
050022, г. Алматы, ул. Байтурсынова, 78а, тел. 292-55-64.